



## Perbaikan Faktor Daya Pada Sistem Kelistrikan Di PT. Pertamina Hulu Rokan Dengan Simulasi Aliran Beban Menggunakan Etap

Yani Ridal

Electrical Department Technology of Industry Faculty, Bung Hatta University

DOI: 10.31004/jutin.v6i3.17296

✉ Corresponding author:  
[yani.ridal@yahoo.com]

### Article Info

### Abstrak

*Kata kunci:*  
*Energi Listrik;*  
*Daya Reaktif;*  
*Beban Induktif;*

Energi listrik setiap tahunnya mengalami peningkatan kebutuhan yang sangat signifikan dan menurut penyedia tegangan listrik untuk memberikan suplai tenaga listrik yang cukup berkualitas. Peningkatan kebutuhan energi juga diikuti dengan permintaan daya reaktif akibat beban yang bersifat induktif juga meningkat. PT. Pertamina Hulu Rokan merupakan salah satu pengguna beban induktif yang cukup besar, karena hampir disetiap titik lokasi pengeboran minyak terdapat beban induktif yang terpasang diantaranya transformator dan motor-motor induksi. Dalam penulisan ini, penulis mencoba menguraikan secara ringkas pemanfaatan Kapasitor Bank yang digunakan di PT. Pertamina Hulu Rokan. Dari data dan hasil penelitian yang telah dilakukan maka dapat disimpulkan bahwa, dengan adanya penambahan kapasitor bank pada sistem kelistrikan di PT. Pertamina Hulu Rokan dapat membantu mengkompensasi kekurangan daya reaktif pada sistem kelistrikan yang saat ini sedang digunakan di PT. Pertamina Hulu Rokan

### Abstract

*Keywords:*  
*Electrical energy;*  
*Reactive Power;*  
*Inductive Load*

Electrical energy needs a very significant increase every year and according to the supply voltage to provide enough quality electricity supply. The increase in energy demand is also followed by the demand for reactive power due to increased inductive loads. PT. Pertamina Hulu Rokan is one of the users of quite large inductive loads, because almost at every point of the oil drilling location there are inductive loads installed including transformers and induction motors. In this writing, the author tries to briefly describe the use of bank capacitors used at PT. Pertamina Hulu Rokan. From the data and research results that have been carried out, it can be concluded that, with the addition of bank capacitors to the electrical system at PT. Pertamina Hulu Rokan it can help compensate for the lack of reactive power in the electrical system which is currently being used at PT. Pertamina Hulu Rokan.

## 1. INTRODUCTION

Pembangunan yang pesat dewasa ini utamanya di sektor industri mendorong meningkatnya kebutuhan akan tenaga listrik. Hal ini disebabkan oleh pemanfaatan tenaga listrik yang menjadi sumber tenaga dalam industri. Pemakaian tenaga listrik yang semakin hari semakin meningkat menyebabkan bervariasinya jenis beban. Kendala oleh beban yang bervariasi menyebabkan faktor daya listrik menjadi rendah. Hal ini disebabkan karena adanya beban yang mempunyai karakteristik yang berbeda sehingga memerlukan peralatan tambahan.

Beban yang bersifat induktif dapat menurunkan efisiensi sistem, baik pada sistem yang bekerja sendiri (misalnya pada industri-industri dengan pembangkit sendiri tanpa interkoneksi dengan pembangkit lainnya) maupun pusat-pusat pembangkit yang saling terinterkoneksi dimana hal tersebut merupakan masalah dalam sistem kelistrikan khususnya dalam melayani kebutuhan beban yang semakin meningkat. Untuk mengimbangi kebutuhan daya yang semakin meningkat, dapat dilakukan upaya dengan berbagai upaya, antara lain 1) Pembangunan pusat-pusat pembangkit baru, 2) Meningkatkan efisiensi sistem melalui pemasangan peralatan-peralatan kompensasi sebagai sumber daya reaktif. Dari kedua alternatif di atas, alternatif (1) hanya dapat dilakukan jika kondisi kapasitas daya diperkirakan jauh di atas kapasitas yang sudah terpasang. Sedangkan alternatif (2), merupakan upaya awal yang perlu dilakukan dalam rangka peningkatan efisiensi kerja sistem. Umumnya industri besar bebannya terdiri dari beban induktif, apakah itu berupa motor induksi atau berupa lampu-lampu penerangan yang membutuhkan daya reaktif. Motor-motor induksi dengan kapasitas besar pada umumnya dioperasikan di bawah rating nominalnya. Hal itu dimaksudkan untuk memperpanjang usia pemakaian motor tersebut. Sebab dengan mengoperasikan di bawah rating nominalnya, maka faktor daya motor menjadi rendah. Secara teoritis dengan faktor daya yang rendah, arus yang dibutuhkan dari penyedia daya menjadi besar. Hal ini menyebabkan besarnya rugi-rugi daya dan jatuh tegangan pada sistem. Rendahnya faktor daya berpengaruh pada besarnya daya reaktif yang dibutuhkan sistem. Besarnya daya reaktif yang diserap, sangat memungkinkan nilai faktor daya berada di bawah nilai tersebut. Hal ini memerlukan suatu cara mengkompensir kebutuhan akan daya reaktif tambahan untuk memperbaiki faktor daya tersebut. Faktor daya rendah juga mempengaruhi kapasitas sistem secara keseluruhan. Hal itu terlihat dengan besarnya daya semu (VA). Dengan kondisi seperti itu maka sangat memungkinkan terjadinya beban lebih pada sistem.

## 2. METHODS

Terdapat beberapa cara untuk melakukan koreksi/perhitungan daya reaktif, cara-cara yang biasa digunakan adalah dengan metode perhitungan biasa, metode tabel kompensasi, metode diagram, metode kuitansi PLN, & metode Segi tiga daya.

### 2.1 Perhitungan Biasa

Data yang diperlukan antara lain adalah daya aktif (kW). Power factor lama ( $\cos \theta_1$ ) dan power factor baru ( $\cos \theta_2$ ). Daya yang diperoleh dari persamaan:

$$S = P / \cos \theta_1$$

Dimana:

$$S = \text{Daya nyata (kVA)} \quad P = \text{Daya aktif (kW)}$$

Daya reaktif dari pf lama dan pf baru diperoleh dari persamaan:

$$Q_1 = P \tan \theta_1 \quad (2.37)$$

$$Q_2 = P \tan \theta_2 \quad (2.38)$$

Dimana:

$$Q_1 = \text{Daya reaktif pf lama (kVAR)}$$

$$Q_2 = \text{Daya reaktif pf baru (kVAR)}$$

Daya reaktif yang dikompensasi oleh kapasitor bank adalah:

$$Q_C = Q_1 - Q_2 \quad (2.39)$$

Dimana:

$$Q_C = \text{Daya yang dikompensasi kapasitor (kVAR)}$$

$$Q_1 = \text{Daya reaktif pf lama (kVAR)}$$

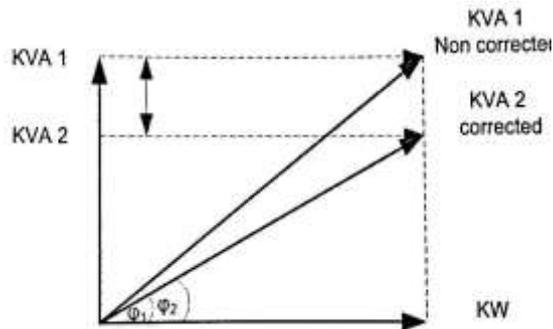
$$Q_2 = \text{Daya reaktif pf baru (kVAR)}$$

### 2.2 Metode Tabel Kompensasi

Untuk menghitung besarnya daya reaktif dapat dilakukan melalui tabel kompensasi, tabel ini menyajikan suatu data dengan input faktor daya mula-mula sebesar  $\cos \theta_1$  dan faktor daya yang diinginkan  $\cos \theta_2$  maka besarnya faktor pengali dapat dilihat melalui tabel kompensasi.

### 2.3 Metode Diagram

Dalam menentukan besarnya kapasitor yang dibutuhkan diperlukan diagram sebelum kompensasi dan sesudah kompensasi (seperti gambar 1)



**Gambar. 1. Diagram Daya Untuk Menentukan Daya Kapasitor**

Sebelum ada perbaikan power Gambar 2.19 Diagram daya untuk menentukan daya kapasitor faktor, dengan  $\theta_1$  dan setelah dilakukan perbaikan sesuai yang diinginkan ditunjukkan dengan  $\theta_2$ . Maka besar daya kapasitor yang diperlukan adalah :

$$QC = kW [ \tan\theta_1 - \tan\theta_2 ] \quad (2.40)$$

#### 2.4 Metode Kwitansi PLN

Metode ini memerlukan data dari kwitansi PLN selama satu periode (misalnya 1 tahun). Kemudian data perhitungan diambil dari pembayaran denda kVARH yang tertinggi. Data lain yang diperlukan adalah jumlah pemakaian.

$$Qc = \frac{kVarh}{waktu}$$

#### 2.5 Metode Segitiga Daya

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

#### 2.6 ETAP

ETAP (Electric Transient and Analysis Program) merupakan suatu perangkat lunak yang mendukung sistem tenaga listrik. Perangkat ini mampu bekerja dalam keadaan offline untuk simulasi tenaga listrik, online untuk pengelolaan data real-time atau digunakan untuk mengendalikan sistem secara real-time. Fitur yang terdapat di dalamnya pun bermacam-macam antara lain fitur yang digunakan untuk menganalisa pembangkitan tenaga listrik, sistem transmisi maupun sistem distribusi tenaga listrik. ETAP ini awalnya dibuat dan dikembangkan untuk meningkatkan kualitas kearnanan fasilitas nuklir di Amerika Serikat yang selanjutnya dikembangkan menjadi sistem monitor manajemen energi secara real time, simulasi, kontrol, dan optimasi sistem tenaga listrik, (Awaluddin, 2007).

ETAP dapat digunakan untuk membuat proyek sistem tenaga listrik dalam bentuk diagram satu garis (one line diagram) dan jalur sistem pentanahan untuk berbagai bentuk analisis, antara lain: aliran daya, hubung singkat, starting motor, transient stability, koordinasi relay proteksi dan sistem harmonisasi. Proyek sistem tenaga listrik memiliki masing-masing elemen rangkaian yang dapat diedit langsung dari diagram satu garis dan atau jalur sistem pentanahan. Untuk kemudahan hasil perhitungan analisis dapat ditampilkan pada diagram satu garis. Etap Power Station memungkinkan anda untuk bekerja secara langsung dengan tampilan gambar single line diagram/diagram satu garis. Program ini dirancang sesuai dengan tiga konsep utama:

#### 2.7 Virtual Reality Operasi

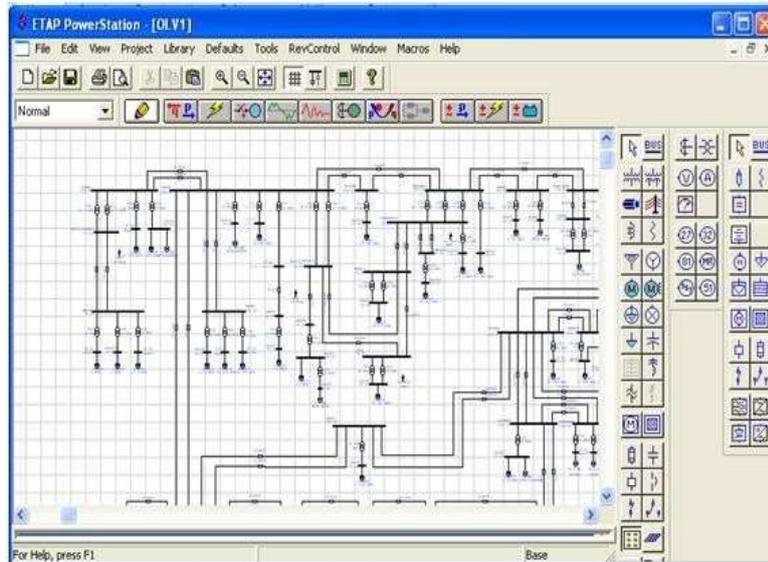
Sistem operational yang ada pada program sangat mirip dengan sistem operasi pada kondisi real nya. Misalnya, ketika Anda membuka atau menutup sebuah sirkuit breaker, menempatkan suatu elemen pada sistem, mengubah status operasi suatu motor, dan untuk kondisi de-energized pada suatu elemen dan sub-elemen sistem ditunjukkan pada gambar single line diagram dengan warna abu-abu.

#### 2.8 Total Integration Data

Etap Power Station menggabungkan informasi sistem elektrikal, sistem logika, sistem mekanik, dan data fisik dari suatu elemen yang dimasukkan dalam sistem database yang sama. Misalnya, untuk elemen sebuah kabel, tidak hanya berisikan data kelistrikan dan tentang dimensi fisiknya, tapi juga memberikan informasi melalui raceways yang di lewati oleh kabel tersebut. Dengan demikian, data untuk satu kabel dapat digunakan untuk dalam menganalisa aliran beban (load flow analysis) dan analisa hubung singkat (short-circuit analysis) yang membutuhkan parameter listrik dan parameter koneksi serta perhitungan ampacity derating suatu kabel yang memerlukan data fisik routing.

## 2.9 Simplicity in Data Entry

Etap Power Station memiliki data yang detail untuk setiap elemen yang digunakan. Dengan menggunakan editor data, dapat mempercepat proses entri data suatu elemen. Data-data yang ada pada program ini telah di masukkan sesuai dengan data-data yang ada di lapangan untuk berbagai jenis analisa atau desain.



**Gambar 2. Tampilan Layar Pada ETAP**

ETAP PowerStation dapat melakukan penggambaran single line diagram secara grafis dan mengadakan beberapa analisa/studi yakni Load Flow (aliran daya), Short Circuit (hubung singkat), Motor starting, Harmonisa, Transient stability, Protective device coordination, dan Cable derating. ETAP PowerStation juga menyediakan fasilitas Library yang akan mempermudah desain suatu sistem kelistrikan. Library ini dapat diedit atau dapat ditambahkan dengan informasi peralatan bila perlu. Beberapa hal yang perlu diperhatikan dalam bekerja dengan ETAP PowerStation adalah:

- One Line Diagram, menunjukkan hubungan antar komponen/peralatan listrik sehingga membentuk suatu sistem kelistrikan.
- Library, informasi mengenai semua peralatan yang akan dipakai dalam sistem kelistrikan. Data elektrik maupun mekanis dari peralatan yang detail/lengkap dapat mempermudah dan memperbaiki hasil simulasi/analisa.

## 3. RESULT AND DISCUSSION

### 3.1 kV sebelum menambahkan kapasitor bank.

Dengan data dilapangan yang diperoleh yaitu tegangan pada beban BKO\_115 adalah 95.74 kV, Arus adalah 117.5 A dan Cos  $\phi$  adalah 0.85 maka:

*Daya Semu, dengan mengacu pada rumus pada persamaan 2.6 pada dasar teori bahwa:*

$$S = V \times I \times \sqrt{3}$$

Sehingga menjadi  $S = 95.74 \text{ MW} \times 117.5 \text{ A} \times 1.732$   
 $S = 19,484.04 \text{ VA} = 19.5 \text{ MVA}$

*Daya Aktif, dengan mengacu pada rumus pada persamaan 2.1 pada dasar teori bahwa:*

$$P = V \times I \times \cos \phi \times \sqrt{3}$$

Sehingga menjadi  $P = 95.74 \text{ MW} \times 117.5 \text{ A} \times 0.85 \times 1.732$   
 $P = 16,561.44 \text{ Watt} = 16.6 \text{ MW}$

*Daya Reaktif, dengan mengacu pada rumus pada persamaan 2.1 pada dasar teori bahwa:*

$$Q = V \times I \times \sin \phi \times \sqrt{3}$$

Untuk mencari nilai phi berdasarkan rumus persamaan 2.1.2 sebagai berikut:  $\cos \phi = \frac{P}{S}$

$$\cos \phi = \frac{16.6 \text{ MW}}{19.5 \text{ MVA}}$$

$$\cos \phi = 0.85$$

$$\varphi = \cos^{-1} 0.85$$

$$\varphi = 31.78^\circ$$

Sehingga menjadi:

$$Q = 95.74 \text{ MW} \times 117.5 \text{ A} \times \sin 31.78 \times 1.732$$

$$Q = 95.74 \text{ MW} \times 117.5 \text{ A} \times 0.526 \times 1.732$$

$$Q1 = 10,248.6 \text{ VAR} = 10.2 \text{ MVAR}$$

Faktor Daya Awal (Cos Phi)

$$\text{Cos } \varphi = \frac{P}{S}$$

Dimana berdasarkan rumus diatas bahwa aliran beban BKO\_115 P = 16.6 MW dan S=19.5 MVA, sehingga perhitungan menjadi:

$$\text{Cos } \varphi = \frac{P}{S} = \frac{16.6 \text{ MW}}{19.5 \text{ MVA}} = 0.85$$

Perhitungan Sesudah Pemasangan Kapasitor Bank

Daya beban yang digunakan pada saluran BKO\_115 di PT. Pertamina Hulu Rokan adalah sebagai berikut:

Daya aktif (P2)		= 16.7 MW
Cos $\varphi$ akhir		= 0,92

Maka  $\text{Cos } \varphi = 0.92$   
 $\varphi = 23.07^\circ$   
 $\tan \varphi = 0.425$

$$\text{Daya Semu (S2)} = \frac{P2}{\text{Cos } \varphi \text{ akhir}}$$

$$= \frac{16.7 \text{ MW}}{0.92}$$

$$= 18.15 \text{ MVA}$$

$$\text{Daya Reaktif (Q2)} = P2 \times \tan \varphi$$

$$= 16.7 \text{ MW} \times 0.425$$

$$= 7.09 \text{ Mvar}$$

Besar daya reaktif yang dikompensasikan kapasitor adalah

$$Qc = Q1 - Q2$$

$$Qc = 10.2 \text{ Mvar} - 7.09 \text{ Mvar}$$

$$Qc = 3.11 \text{ Mvar}$$

Perhitungan Kapasitas Kapasitor Bank, didalam hubungan bintang maka:

$$V_{\text{phase}} = \frac{\sqrt{L-L}}{\sqrt{3}} = \frac{13.8 \text{ kV}}{1.732} = 7.96 \text{ kV}$$

Kapasitas kapasitor adalah

$$C_{\text{bintang}} = \frac{Qc}{(\sqrt{L-L})^2 \times \omega} = \frac{Qc}{(\sqrt{L-L})^2 \times 2 \times 3.14 \times F}$$

$$3.11 \text{ Mvar}$$

$$C_{\text{bintang}} = \frac{3.11}{(13.8 \text{ kV})^2 \times 2 \times 3.14 \times 60}$$

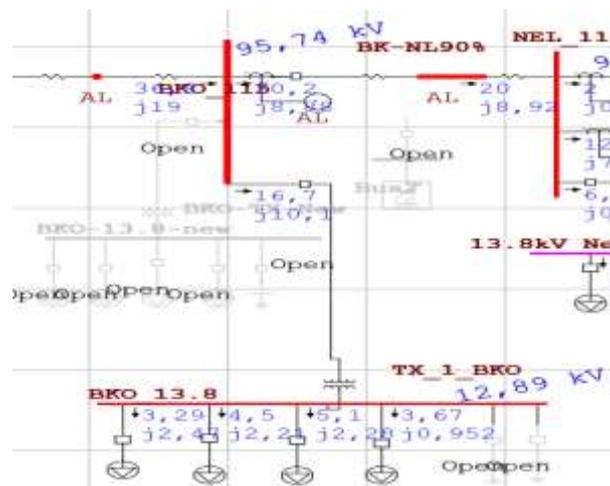
$$C_{\text{bintang}} = \frac{3.11}{71,757.79} = 43.34 \mu\text{F}$$

Dari perhitungan faktor daya sebelum dan sesudah perbaikan kapasitor bank pada jaringan BKO\_115 kV dapat dilihat pada tabel berikut:

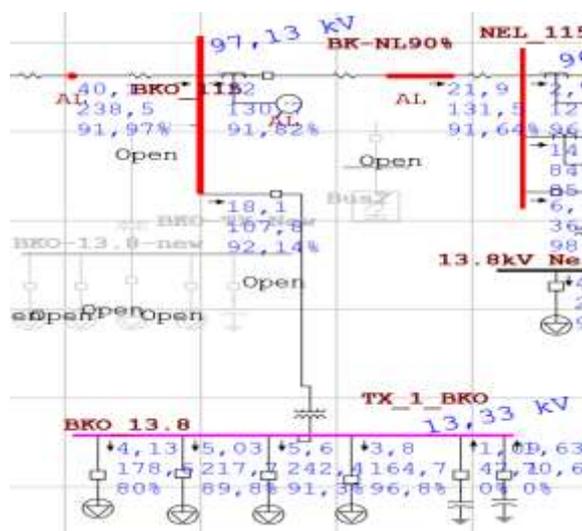
**Tabel 1. Ringkasan Daya Sebelum dan Sesudah Perbaikan Faktor Daya**

No.	Simbol	Daya	
		Sebelum Kompensasi	Sesudah Kompensasi
1.	Cos $\phi$	0.85	0.92
2.	P	16.6 MW	16.7 MW
3.	S	19.5 MVA	18.15 MVA
4.	Q	10.2 MVAR	7.09 MVAR
5.	I	117.5 A	
6.	V		

Dengan di dapatnya data di atas bahwa dengan menambahkan kapasitor sebesar 43.32  $\mu\text{F}$  di sisi bus BKO\_13.8 kV dapat mempengaruhi nilai faktor daya menjadi 0.92 dari 0.85 dan tegangan drop pada saluran bus BKO\_115 kV menjadi 97.13 Kv dari 95.74 kV dan juga memberikan dampak kenaikan tegangan di saluran bus BKO\_13.8 kV menjadi 13.33 kV dari 12.89 kV.



Gambar 3 Tegangan bus BKO 13.8 Kv dan 115 kV sebelum perbaikan



Gambar 4. Tegangan bus BKO 13.8 Kv dan 115 kV sesudah perbaikan

Dampak penambahan kapasitor ini juga terlihat secara keseluruhan pada total daya reaktif = 291.327 Mvar, daya semu = 492.552 MVA, dan power faktor = 0.8. Selain itu ternyata dengan penambahan kapasitor ini membuat Mvar yang dihasilkan dari beberapa turbin juga ikut berkurang, yang artinya bisa membuat kinerja rotor generator lebih ringan dibandingkan sebelum penambahan kapasitor. Hal ini dapat dibuktikan dari total Mvar yang dibangkitkan dari pembangkit yang ada di PT. Pertamina Hulu Rokan.

#### 4. CONCLUSION

- Penggunaan kapasitor bank untuk perbaikan faktor daya memiliki keistimewaan baik dari segi efek dan akibat, pengaturan sistem pembangkit, meminimalisir kinerja keras pada rotor generator pembangkit.
- Faktor daya pada PT. Pertamina Hulu Rokan sebelum perbaikan dengan  $\cos \phi$  0,85 menghasilkan daya reaktif sebesar 10.2 Mvar sedangkan dengan menggunakan  $\cos \phi$  0,92 daya reaktif yang dihasilkan sebesar 7.09 Mvar. Jadi besar daya reaktif yang di kompensasi atau di berikan kapasitor bank adalah 3.11 Mvar.
- Dengan menggunakan software ETAP akan tampak jelas kenaikan arus, pengurangan produksi daya reaktif dari pembangkit, dan kenaikan tegangan pada beban yang dipakai, hal ini membuktikan dengan melakukan kompensasi daya akan menyelamatkan busbar pada jaringan yang
- terpasang kapasitor bank.
- Dengan menggunakan software ETAP dapat mempermudah melakukan kajian terhadap aliran beban terutama dalam penambahan kapasitor bank serta melihat secara detail dan umum pengaruhnya ke jaringan sistem kelistrikan.
- Dengan penambahan kapasitor pada saluran beban, dapat membuat efisiensi kerja dari tap transformer menjadi lebih sedikit ketika memenuhi atau memperbaiki faktor daya yang buruk di sistem.

#### Saran

- Diharapkan di masa yang akan datang dapat digunakan sebagai salah satu sumber data untuk penelitian selanjutnya dan dilakukan penelitian lebih lanjut berdasarkan faktor lainnya, variabel yang berbeda, jumlah data yang lebih banyak, tempat yang berbeda yang memiliki keterkaitan dengan dengan faktor daya.
- Penelitian yang bertujuan untuk melakukan ramalan aliran beban (load forecast) sebaiknya dilakukan dalam bentuk permodelan di ETAP untuk mencari kestabilan sistem kelistrikan.
- Penelitian ini bisa dilanjutkan ke tahap selanjutnya dengan melakukan perbaikan faktor daya dengan metode penambahan kapasitor bank pada saluran bus transmisi (115 kV).

#### 5. REFERENCES

- Bangun, Ananta Pontas, Kajian Mengefisiensikan Pemanfaatan Energi Listrik Dengan Menggunakan Kapasitor Bank (Aplikasi Pada UBH), Penelitian Dosen LPPM Universitas Bung Hatta, 2002.
- Bayu, Kapasitor Bank, 2007 (<http://kawruh.blogspot.com/archive.html>, diakses tanggal 9 Agustus 2007).
- Comar Condensatori, Automatic P.F. Correction Equipment, Comar Condensatori, S.p.A., 1968 (<http://www.comarcond.com>, diakses tanggal 21 November 2006).
- Gonen, Turan, Electric Power Distribution System Engineering, McGraw-Hill Inc., Singapore, ch. 8, pp. 378-451, 1987.
- Hunt, T.W. dan W.A. Brecknell, Power Capacitor Handbook, Butterworth and Co (Publishers) Ltd., British, 1984.
- Indhana dan Yahya, Efisiensi Daya, 2005 (<http://capmun.freecoolsite.com/tutorial/powerquality.pdf>, diakses tanggal 9 Agustus 2007).
- Indra Koesoema, Koes dan Yayan Andryanto, Kajian faktor Daya, Buletin Pengelolaan Reaktor Nuklir, 3 (1) : April 2006 (<http://www.batan.go.id/prsg/kajianfaktordaya.pdf>, diakses tanggal 14 September 2007).
- Kadir, Abdul, Energi, Edisi 2, Universitas Indonesia, Jakarta, ch. 26, pp. 623-716, 1995.
- Mengapa Alat Penghemat Listrik Memakai Kapasitor Bank, Diskusi Mailing List Migas Indonesia, 2003 (<http://www.sainstek.com/news>, diakses tanggal 16 September 2007).
- Pabla, A.S., Sistem Distribusi Daya Listrik, Erlangga, Jakarta, ch. 7, pp. 140-153 dan ch. 12, pp. 281-299, 1994.