

PERANCANGAN KEBUTUHAN KAPASITOR BANK UNTUK PERBAIKAN FAKTOR DAYA PADA LINE MESS I DI PT. BUMI LAMONGAN SEJATI (WBL)

Khadafi Alland

Teknik Elektro, Fakultas Teknologi Industri, ITATS
Alland_k@gmail.com

Efrita Arfah Z.

Teknik Elektro, Fakultas Teknologi Industri, ITATS
zuliary_efri@yahoo.co.id

Abstrak

Permasalahan pada line Mess I PT. Bumi Lamongan Sejati (WBL) adalah terdapat banyak beban-beban induktif yang muncul akibat banyaknya macam beban yang terpasang pada line ini, seperti beberapa alat permainan dan wahana yang berbeda-beda, keadaan tersebut membuat faktor dayanya menjadi rendah dan menurunnya tegangan pada daerah dekat beban sehingga trip tidak dapat dihindarkan pada line ini. Perhitungan besar daya reaktif dan kapasitas kapasitor bank yang sesuai dengan kebutuhan beban ini akan membantu meminimalisasikan faktor daya yang rendah yang akan berpengaruh pada optimalnya suplai tenaga listrik dan kenyamanan aktifitas operasional di line Mess I PT. Bumi Lamongan Sejati (WBL). Perancangan ini sangat penting untuk mengetahui perbaikan faktor daya pada sistem tenaga listrik di line Mess I PT. Bumi Lamongan Sejati (WBL). Dari hasil perhitungan, didapatkan besar kebutuhan kapasitas kapasitor banknya adalah 219,858 KVAR.

Kata Kunci : Daya reaktif, faktor daya, kapasitor bank.

Abstract

The problem in Bumi Lamongan Sejati Limited Company Mess I line is the considerable inductive load that come up as the impact of many different load set in this line, such as some game devices and varying facilities, this condition lower its power factor and decline the strain in the area near the load so that trip cannot be avoided in this line. The calculation of reactive power consumption and the capacity of bank capacitor in accordance with the requirement of this load will help to minimize the low power factor which will impact on the optimization of the electricity supply and the comfort of operational activity in Bumi Lamongan Sejati Limited Company Mess I line. This design is very important to find out the improvement of power factor in the electricity system in Bumi Lamongan Sejati Limited Company Mess I line. From the calculation result, it was found that the required capacity of bank capacitor is 219,858 KVAR.

Keywords: Reactive power, power factor, bank capacitor

1. Pendahuluan

PT. BUMI LAMONGAN SEJATI (WBL) Lamongan merupakan salah satu obyek wisata di Indonesia yang mempunyai beberapa line yang digunakan untuk proses pendukung pengoperasionalan alat-alat permainan dan wahananya. Dimana setiap linanya memerlukan supply dari tenaga listrik untuk menjalankannya. Dalam perancangan yang dilakukan ini,

kapasitor bank yang dijadikan obyek penelitian adalah kapasitor bank yang terpasang pada line Mess I, Salah satu line yang berperan sebagai penyuplai alat permainan dan wahana seperti istana boneka, tagada, paus dangdut, jet coaster, ranger, pool, galery kerang, bajak laut, planet kaca, drop zone dan speed flip. Untuk mengetahui besar kebutuhan kapasitor bank memanglah tidak mudah, dengan bantuan rumus-rumus dan data terkait, maka akan

didapat seberapa besar kebutuhan kapasitor bank yang dibutuhkan untuk perbaikan faktor daya pada line ini.

Perancangan yang dilakukan merupakan perancangan yang berorientasi pada kapasitor bank yang terpasang pada line yang dimaksud. Permasalahan pada line ini adalah terdapat banyak beban-beban induktif yang muncul akibat banyaknya macam beban terpasang pada line ini. Jika dilihat dari instalasinya line ini mempunyai beberapa stasiun yang terdiri atas beberapa alat permainan dan wahana yang berbeda-beda, tentunya keadaan tersebut membuat faktor dayanya menjadi rendah dan menurunnya tegangan sehingga trip tidak dapat dihindarkan pada line ini. Pertimbangan dalam hal menentukan kapasitas kapasitor bank yang sesuai dengan kebutuhan beban sangat perlu dilakukan sehingga didapatkan perbaikan faktor daya yang efektif dan efisien, serta demi untuk mencapai kelancaran dalam pengoperasionalnya yang akan mempengaruhi terhadap kenyamanan pengunjung untuk menikmati wahana dan permainan tersebut, terutama pada jam operasional, karena melihat dari aktifitas PT. Bumi Lamongan Sejati (WBL) yang memiliki jam operasional pada pukul 08.00 pagi hingga 17.00 sore.

Tujuan yang ingin dicapai pada perancangan ini adalah untuk memperbaiki faktor daya pada sistem tenaga listrik di line Mess I PT. Bumi Lamongan Sejati (WBL). Sehingga, dapat disimpulkan langkah-langkah untuk meminimalisir keadaan tersebut berdasarkan hasil perancangan.

2. Teori

a. Kebutuhan Tenaga Listrik yang Berkualitas

Kualitas daya listrik adalah setiap masalah daya listrik yang berbentuk penyimpangan tegangan, arus atau frekuensi yang mengakibatkan kegagalan ataupun kesalahan operasi pada peralatan-peralatan yang terjadi pada konsumen energi listrik (Dugan, 1996). Kebutuhan akan kualitas daya listrik yang baik merupakan harapan semua konsumen yang disuplay dari

PLN. Adapun kualitas daya listrik yang baik ditandai oleh baiknya keadaan frekuensi, tegangan, kontinuitas, power faktor, dan juga dapat menekan sekecil mungkin masalah yang ada pada kualitas daya listrik.

b. Faktor Daya

Faktor daya yang dinotasikan $\cos \phi$ didefinisikan sebagai perbandingan antara arus yang dapat menghasilkan kerja didalam suatu rangkaian terhadap arus total yang masuk kedalam rangkaian atau dapat dikatakan sebagai perbandingan daya aktif (kW) dan daya semu (kVA) (Rizal, 2012).

c. Perbaikan Faktor Daya

Perbaikan faktor daya umumnya adalah penambahan komponen sebagai pembangkit daya reaktif (*Reaktif power generation*) yang memungkinkan untuk mensuplai kebutuhan kVAR pada beban-beban induktif, untuk merencanakan suatu sistem dalam memperbaiki faktor daya, dapat dipergunakan suatu konsep yaitu kompensator ideal, dimana sistem ini dapat dihubungkan pada titik penyambungan secara paralel dengan beban dan memenuhi 3 fungsi utama, yaitu memperbaiki faktor daya mendekati nilai 1 (unity power factor), mengurangi atau mengeliminasi regulasi tegangan dan menyeimbangkan arus beban dan tegangan fasa. Untuk memenuhi kebutuhan daya reaktif yang efektif dan efisien, maka perlu dilakukan pemilihan sumber daya reaktif untuk perbaikan faktor daya (Stevenson, 1993).

d. Kapasitor Bank untuk Perbaikan Faktor Daya

Insinyur sistem tenaga biasanya menganggap sebuah kapasitor sebagai generator daya reaktif positif, dan bukannya sebagai suatu beban yang memerlukan daya reaktif negatif. Konsep ini sangat masuk akal, karena sebuah kapasitor yang menarik daya reaktif negatif dan terpasang paralel dengan sebuah beban induktif akan mengurangi daya reaktif yang seharusnya disuplay seluruhnya oleh sistem kepada beban induktif. Dengan kata lain, kapasitor mencatu daya reaktif yang diperlukan oleh beban induktif. Hal ini sama saja dengan menganggap

sebuah kapasitor sebagai suatu alat yang memberikan arus yang ketinggalan (lagging) dan bukannya sebagai alat yang menarik arus yang mendahului (leading). Jadi, sebuah kapasitor variabel yang terpasang paralel pada suatu beban induktif dapat diatur sedemikian rupa sehingga arus yang mendahului pada kapasitor menjadi tepat sama besar dengan komponen arus pada beban induktif yang tertinggal 90° terhadap tegangan. Jadi arus total sefasa dengan tegangan. Rangkaian induktif masih memerlukan daya reaktif positif, tetapi daya reaktif nettonya nol. Inilah alasannya mengapa insinyur sistem tenaga lebih suka menganggap kapasitor sebagai pencatu daya reaktif kepada beban induktif (Stevenson, 1993).

1) Pengertian Kapasitor Bank

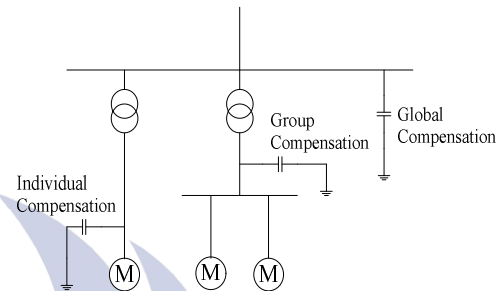
Bank Kapasitor adalah rangkaian yang terdiri dari beberapa unit kapasitor. Kapasitas unit kapasitor menyatakan besar daya reaktif nominal yang dihasilkan pada tegangan dan frekuensi nominal, dinyatakan dalam satuan dasar Var. Praktisnya, unit kapasitor diproduksi dalam kapasitas tertentu dan bersifat diskrit (Brunello, 2003).

2) Prinsip Kerja Kapasitor Bank

Kapasitor yang akan digunakan untuk memperbesar pf dipasang paralel dengan rangkaian beban. Bila rangkaian itu diberi tegangan maka elektron akan mengalir masuk ke kapasitor. Pada saat kapasitor penuh dengan muatan elektron maka tegangan akan berubah. Kemudian elektron akan ke luar dari kapasitor dan mengalir ke dalam rangkaian yang memerlukannya dengan demikian pada saat itu kapasitor membangkitkan daya reaktif. Bila tegangan yang berubah itu kembali normal (tetap) maka kapasitor akan menyimpan kembali elektron. Pada saat kapasitor mengeluarkan elektron (Ic) berarti sama juga kapasitor menyuplai daya reaktif ke beban. Keran beban bersifat induktif (+) sedangkan daya reaktif bersifat kapasitor (-) akibatnya daya reaktif yang berlaku menjadi kecil.

e. Lokasi Pemasangan Instalasi Kapasitor Bank

Cara pemasangan instalasi kapasitor bank dapat dibagi menjadi 3 bagian yaitu: global compensation, individual compensation dan group compensation.



Gambar 1 Metode Lokasi Pemasangan Instalasi Kapasitor Bank

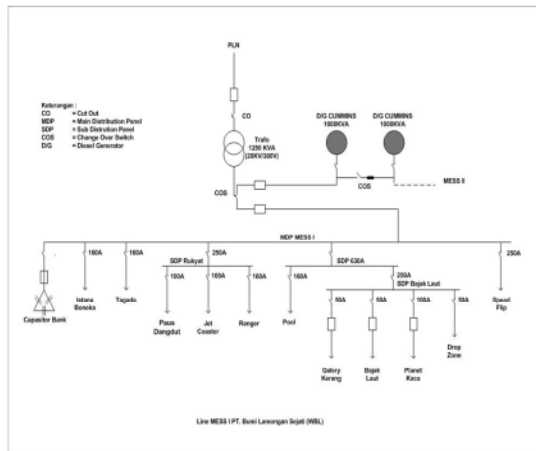
1. Global Compensation: kapasitor dipasang di induk panel (MDP), sehingga arus yang turun hanya di penghantar antara panel MDP dan transformator, sedangkan arus yang lewat setelah MDP tidak turun.
2. Group Compensation : kapasitor yang terdiri dari beberapa panel kapasitor dipasang dipanel SDP (pada industri dengan kapasitas beban terpasang besar sampai ribuan kva).
3. Individual Compensation : kapasitor langsung dipasang pada masing masing beban khususnya yang mempunyai daya yang besar, cara ini lebih efektif dan lebih baik dari segi teknisnya. Namun kekurangannya adalah harus menyediakan ruang atau tempat khusus untuk meletakkan kapasitor tersebut (Suheta, 2012).

3. Metodologi Perancangan

1). Bahan Perancangan

Pada line Mess I, suplai tenaga listrik berasal dari transformator 1250 KVA. Suplai dari PLN 20 kV yang kemudian dialirkan ke transformator 1250 KVA, tegangan 20 kV diturunkan melalui transformator kemudian didistribusikan ke

masing-masing stasiun yang ada pada line Mess I untuk menyuplai penerangan dan beban-bebannya, seperti yang ditunjukkan gambar 3.1.



Gambar 2. Line Mess I PT. Bumi Lamongan Sejati (WBL)

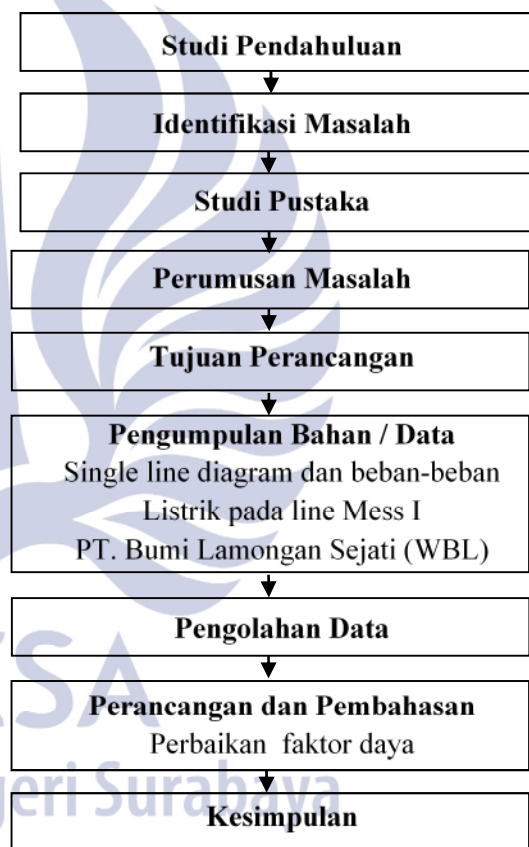
Adapun stasiun yang ada pada line Mess I PT. Bumi Lamongan Sejati (WBL) adalah :

1. Stasiun Istana Boneka (380V, 50 Hz) – 30,54 KW – 58 A, mensuplai :
 - a. Istana Boneka
2. Stasiun Tagada (380V, 50 Hz) – 24,6 KW – 46,7 A, mensuplai :
 - a. Tagada
3. Stasiun Rukyat (380V, 50 Hz) – 126,4 KW – 240 A, mensuplai :
 - a. Paus Dangdut
 - b. Jet Coaster
 - c. Ranger
4. Stasiun Pool (380V, 50 Hz) – 42,6 KW – 81 A, mensuplai :
 - a. Pool
5. Stasiun Bajak Laut (380V, 50 Hz) – 57,7 KW – 109,7 A, mensuplai :
 - a. Bajak Laut
 - b. Drop Zone
 - c. Galeri Kerang
 - d. Planet Kaca
6. Stasiun Speed Flip (380V, 50 Hz) – 72,5 KW – 137,7 A, mensuplai :
 - a. Speed Flip

2). Cara Kerja

Mengadakan wawancara dengan pihak terkait tentang system distribusi energi listrik di PT. Bumi Lamongan Sejati (WBL), beserta Mengumpulkan data-data beban listrik baik melalui wawancara dan terjun langsung ke lokasi untuk mengukur dan melihat keadaan system kelistrikkannya. Data tersebut merupakan data yang diperoleh pada saat beban puncak (High Session). Data inilah yang digunakan sebagai perancangan kebutuhan kapasitor bank pada Mess I di PT. Bumi Lamongan Sejati (WBL).

3). Jalan Perancangan



Gambar 3. Diagram Alir Perancangan

4). Tahapan Perancangan

a. Penentuan Cos

Daya dalam sistem fasa tiga adalah sama, baik hubungan Y maupun Δ berlaku persamaan seperti dibawah ini :

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

Dari persamaan diatas maka untuk menentukan $\cos \varphi$ adalah sebagai berikut :

$$\cos \varphi = \frac{P}{\sqrt{3} V I} \dots \dots \dots (2)$$

Dimana :

- $\cos \varphi$ = Power Faktor
- P = Daya (Watt)
- V = Tegangan (Volt)
- I = Arus (Ampere)

b. Perbaikan Faktor Daya

Untuk perbaikan faktor daya adalah meningkatkan nilai dari $\cos \varphi_1$ menjadi $\cos \varphi_2$ dengan tingkat distorsi yang rendah dan tidak terjadi resonansi pada impedansi bus-bus utama. Berdasarkan atas pengukuran pemakaian beban puncak sebelum dilakukan pemasangan kompensator daya reaktif tambahan berupa kapasitor bank dapat ditentukan kebutuhan daya aktif dan daya reaktifnya :

$$\begin{aligned} \cos \varphi \text{ (pf)} &= \frac{P}{S} \dots \dots \dots (3) \\ &= \frac{V I \cos \varphi}{V I} \end{aligned}$$

Dimana :

- $\cos \varphi$ = Faktor Daya
- P = Daya Aktif (KW)
- S = Daya Semu (KVA)

$V.I.\cos \varphi$ adalah total daya aktif (P total) pada saat operasi beban penuh maka :

$$\text{Daya Reaktif} = \sqrt{KVA^2 - KW^2} \dots \dots (4)$$

$$\begin{aligned} &= KVA \sin \varphi \\ &= KW \tan \varphi \end{aligned}$$

$$\text{Daya Semu} = \sqrt{KW^2 + KVAR^2} \dots \dots (5)$$

$$= \frac{KW}{\cos \varphi}$$

Untuk meningkatkan harga $\cos \varphi_2$ mendekati harga ideal yaitu 1 (Unity Power faktor). Dalam hal ini, dengan melihat karakteristik beban yang fluktuatif maka target perbaikan faktor daya untuk PT. Bumi Lamongan Sejati (WBL) adalah dari $\cos \varphi_1$ menjadi $\cos \varphi_2$. Sehingga kebutuhan daya reaktifnya akan berubah menjadi :

$$Q_b = P \tan \varphi_1 \dots \dots \dots (6)$$

$$Q_t = P \tan \varphi_2 \dots \dots \dots (7)$$

Sehingga

$$Q_c = Q_b - Q_t \dots \dots \dots (8)$$

$$C = \frac{Q_c}{2 \pi f V^2} \dots \dots \dots (9)$$

Dimana :

- Q_b = Daya reaktif sebelum perbaikan (KVAR)
- Q_t = Daya reaktif setelah perbaikan (KVAR)
- Q_c = Daya reaktif yang dikompensasi (KVAR)
- C = Kapasitansi Kapasitor (μF)

Dengan demikian untuk menaikkan faktor daya dari $\cos \varphi_1$ menjadi $\cos \varphi_2$ diperlukan kapasitor bank sebesar C (μF).

c. Penentuan Rugi Daya

Saat penyaluran energi listrik dari pusat pembangkit sampai ke beban, rugi-rugi saluran perlu diperhatikan karena akan selalu mengalami hilang (rugi) antara pangkal pengiriman sampai ujung penerimaan. Rugi daya akan dihitung berdasarkan klasifikasi saluran yang didasarkan pada panjang salurannya. Persamaan rugi daya adalah sebagai berikut :

$$P_2 = 3 \cdot I_2^2 \cdot R \dots \dots \dots (10)$$

$$I_2 = \frac{P}{\sqrt{3} \cdot V \cdot \cos \varphi_2} \dots \dots \dots (11)$$

Dimana :

- P = Daya awal (Watt)
- P_2 = Rugi daya (Watt)
- I_2 = Arus setelah Perbaikan (Ampere)

R = Resistansi saluran per fasa (Ohm)
 V = Tegangan (Volt)
 $\text{Cos } \varphi_2$ = Faktor daya setelah perbaikan
 Rugi-rugi saluran dalam persen sebesar :

$$\Delta P = \frac{P_{\text{rugi daya}}}{P_{\text{awal}}} \times 100\% \dots \dots \dots (12)$$

Dimana :

ΔP = Rugi daya dalam persen (%)

d. Penentuan Drop Tegangan

Drop tegangan adalah tegangan yang hilang pada jala-jala pada saat arus mengalir. Drop tegangan yang terjadi pada jaringan tenaga listrik juga perlu diperhatikan guna memperoleh pendistribusian tenaga listrik yang optimal. Besarnya jatuh tegangan ini akan menentukan bagaimana sistem jaringan tenaga listriknya, apakah besarnya jatuh tegangan tegangan kecil sekali atau sangat besar. Jika tidak diperhitungkan, maka terdapat kemungkinan bahwa sistem akan menerima tegangan yang lebih rendah daripada yang diinginkan, dan hal tersebut dapat berakibat fatal terhadap sistem. Jatuh tegangan dapat dihitung dengan rumus:

$$V_2 = I_2 \cdot R \dots \dots \dots (13)$$

$$V_2 = \frac{P}{\sqrt{3} \cdot V \cdot \text{Cos } \varphi_2} \times R \dots \dots \dots (14)$$

Dimana :

V = Tegangan awal (Volt)
 V_2 = Drop tegangan (Volt)
 I_2 = Arus setelah Perbaikan (Ampere)
 R = Resistansi saluran per fasa (Ohm)
 P = Daya (Watt)
 $\text{Cos } \varphi_2$ = Faktor daya setelah perbaikan

Jatuh tegangan dalam persen sebesar :

$$\Delta V = \frac{V_{\text{drop}}}{V_{\text{awal}}} \times 100\% \dots \dots \dots (15)$$

Dimana :

ΔV = Drop tegangan dalam persen (%)

4. Hasil dan pembahasan

Hasil perhitungan pada penentuan $\text{Cos } \varphi$ untuk mengetahui besarnya $\text{Cos } \varphi$ pada tiap stasiun adalah sebagai berikut :

1) Stasiun Istana Boneka :

$$\text{Cos } \varphi = \frac{30540}{\sqrt{3} \cdot 380 \cdot 58} = 0,80$$

2) Stasiun Tagada :

$$\text{Cos } \varphi = \frac{24600}{\sqrt{3} \times 380 \times 46,7} = 0,80$$

3) Stasiun Rukyat :

$$\text{Cos } \varphi = \frac{126400}{\sqrt{3} \cdot 380 \cdot 240} = 0,80$$

4) Stasiun Pool :

$$\text{Cos } \varphi = \frac{42600}{\sqrt{3} \cdot 380 \cdot 81} = 0,79$$

5) Stasiun Bajak Laut :

$$\text{Cos } \varphi = \frac{57700}{\sqrt{3} \times 380 \times 109,7} = 0,79$$

6) Stasiun Speed Flip :

$$\text{Cos } \varphi = \frac{72500}{\sqrt{3} \times 380 \times 137,7} = 0,79$$

Berdasarkan hasil perhitungan penentuan $\text{Cos } \varphi$ diatas, didapatkan bahwa kualitas faktor daya masih rendah. Sehingga untuk mempebaikinya faktor daya, perlu dipasang kapasitor bank. Metode peletakan kapasitor yang dipilih adalah group compensation.

Hasil Perhitungan besarnya daya reaktif dan kapasitansi Kapasitor Bank pada Mess I sebagai perbaikan faktor daya dengan menggunakan rumus kVAR.

Tabel 1 Hasil perhitungan besar daya reaktif dan kapasitansi kapasitor pada Mess I :

| Stasiun | Cos ϕ_1 | Cos ϕ_2 | Q_c | C(μF) |
|---------------|--------------|--------------|---------|--------------|
| Istana Boneka | 0,80 | 0,99 | 18,553 | 409,2 |
| Tagada | 0,80 | 0,99 | 14,957 | 329,9 |
| Rukyat | 0,80 | 0,99 | 76,79 | 1693,6 |
| Pool | 0,79 | 0,99 | 27,011 | 595,7 |
| Bajak Laut | 0,79 | 0,99 | 36,582 | 806,8 |
| Speed Flip | 0,79 | 0,99 | 45,965 | 1014 |
| Jumlah | | | 219,858 | 4849,2 |

Usaha untuk meningkatkan harga Cos ϕ mendekati harga ideal yaitu 1. Perbaikan faktor daya dilakukan dengan menggunakan kapasitor bank yang dipasangkan pada setiap stasiun, dimana dengan memasang kapasitor bank akan mempengaruhi perubahan Cos ϕ pada setiap beban-beban listrik.

Pada tabel 1. dapat dilihat usaha untuk perbaikan faktor daya menjadi 0,99 pada setiap stasiun mempunyai kapasitas daya reaktif yang berbeda-beda. Sedangkan kebutuhan kapasitor bank pada Mess ini sebesar 219,858 KVAR.

5. Kesimpulan

Kesimpulan yang dapat diambil dari perancangan ini adalah sebagai berikut :

1. Perbaikan faktor daya pada Mess I di PT. Bumi Lamongan Sejati (WBL) dengan cara menambahkan kapasitor bank pada setiap stasiun, mampu meningkatkan Cos ϕ menjadi 0,99 lagging dengan kebutuhan kapasitas kapasitor banknya sebesar 219,858 KVAR.
2. Besar daya reaktif yang dikompensasi dan kapasitas kapasitornya adalah : Stasiun Istana Boneka (18,553 KVAR , 409,2 μF), stasiun Tagada (14,957 KVAR ,329,9 μF), stasiun Rukyat (76,79 KVAR, 1693,6 μF), stasiun Pool (27,011 KVAR, 595,7 μF), dan

stasiun Bajak Laut (36,582 KVAR , 806,8 μF), serta stasiun Speed Flip (45,965 KVAR, 1014 μF)

6. Daftar Pustaka

Dugan, R.C, McGranaghan, M. F., Beaty H. Wayne, 1996, *Electrical Power System Quality*, McGraw-Hill.

Gustavo Brunello, 2003, *Shunt Capacitor Bank Fundamental and Protection*, Conference for Protective Relay Engineers, Texas A&M University.

I Putu Agus Didik Hermawan, Titiek Suheta, 2012, *Pemasangan Kapasitor Bank di Pabrik PT Eratex Djaja Tbk Probolinggo*, *Jurnal Iptek*, Jurusan Teknik Elektro, Fakultas Teknologi Industri, Institut Teknologi Adhi Tama Surabaya.

Rizal, Muhammad, 2012, *Daya*, Jurusan Electrical engineering di Politeknik Negeri Malang Badan Eksekutif Mahasiswa.

Stevenson Jr, W.D Terjemahan Idris, Kamal, 1993, *"Analisis Sistem Tenaga Listrik"*, Erlangga, Jakarta.