**PEMASANGAN KAPASITOR BANK DI**

**PABRIK PT ERATEX DJAJA TBK PROBOLINGGO**

I Putu Agus Didik Hermawan dan Titiek Suheta

Jurusan Teknik Elektro FTI Institut Teknologi Adhi Tama Surabaya

Jalan Arief Rachman Hakim 100 Surabaya

Email : sondysuheta@yahoo.com

**ABSTRAK**

Pabrik PT Eratex Djaja Tbk Probolinggo yang merupakan industri garmen tentunya menggunakan energi listrik yang cukup besar, karena banyaknya peralatan yang digunakan dan keanekaragaman peralatan/ beban listrik. Salah satu diantaranya adalah beban motor pada sewing line yang bersifat induktif dan menyebabkan turunnya faktor daya. Sebagai evaluasi digunakan simulasi ETAP ,sehingga faktor daya yang dipasang pada bus 2,3, dan 4 menjadi 0.95 . Hasil akhir menunjukkan penghematan biaya operasional dalam satu bulan sebesar Rp. 213, 684,240,- dan dalam satu tahun sebesar Rp. 2,515,784,880,-.

***Kata Kunci*** : faktor daya, kapasitor bank, biaya operasional

***ABSTRACT***

*Factory Tbk PT Eratex Djaja Probolinggo which is of course the garment industry uses electrical energy is large enough, because of the equipment used and the diversity of equipment / electrical load. One of them is the motor load on the sewing line is inductive and cause a drop in power factor. ETAP is used simulation as an evaluation, so that the power factor 2.3 installed on the bus, and 4 to 0.95. The final results showed operational cost savings within one month of Rp. 213, 684.240, - and within a year of Rp. 2,515,784,880, -.*

***Keywords*** *: power factor, capacitor bank, operational cost*

**PENDAHULUAN**

Pabrik PT Eratex Djaja Tbk terletak di Jl. Soekarno Hatta 23 - Probolinggo yang bergerak dibidang tekstil dan garmen banyak memiliki peralatan penunjang produksi operasional, antara lain mesin-mesin pemotong kain, mesin jahit, mesin penunjang produksi (printing, washing, sewing) dan compressor. Permasalahannya adalah bagaimana mesin-mesin tersebut dalam bekerjanya diupayakan agar bekerja secara efektif dan efisien. Karena diketahui bahwa pada suatu data awal sisi incoming power house transformator Garmen dalam salah satu panelnya memiliki cos φ sebesar 0,79 pada kondisi rata-ratanya,hal ini menunjukkan bahwa kondisi tersebut tidak bagus, karena apabila beban memiliki cos φ kurang dari standar minimal PLN (0,85),maka akan dikenakan denda penalti yang akan dibayarkan pada billing cost tiap bulannya,sehingga untuk dapat menekan besarnya cos φ tersebut, maka PT Eratex Djaja Tbk memasang kapasitor bank dengan cara mensimulasikan keseluruhan single line yang baru dengan tujuan akan di peroleh kapasitas kapasitor bank yang sesuai untuk dapat menaikkan cos φ.

**TINJAUAN PUSTAKA**

1. **Kualitas Daya Listrik**

Menurut *Dugan* ( 1996) 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.

1. **Faktor Daya**

Menurut *Rizal* (2012), Faktor daya yang dinotasikan sebagai cos φ 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).

1. **Perbaikan Faktor Daya**

 Menurut *Firmansyah* (2010) ,Perbaikan faktor daya dapat dilakukan dengan memasang kompensator berupa kapasitor bank disalah satu lokasi sistem kelistrikan,sebelum pemasangan perlu dilakukan pengukuran faktor daya awal terlebih dahulu kemudian ditentukan faktor daya yang diinginkan sehingga dapat mengetahui berapa besarnya kompensasi yang harus dipasang. Ada beberapa metode yang dapat digunakan dalam proses perhitungan tersebut yaitu metode numerik, grafik, kurva dan tabel.

Lokasi pemasangan dari kapasitor bank terbagi dalam tiga jenis yaitu kompensasi sendiri (individual compensation), kompensasi grup (group compensation), dan kompensasi terpusat (central compensation). Sedangkan pada pengoperasiannya kompensator dapat dibedakan menjadi kompensasi tetap (fixed compensation) dan kompensasi otomatis (automatic compensation)

**Lokasi Pemasangan Instalasi Kapasitor Bank**

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



Gambar 2. Metode Lokasi Pemasangan Instalasi Kapasitor Bank

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.

Group Compensation : kapasitor yang terdiri dari beberapa panel kapasitor dipasang dipanel SDP (pada industri dengan kapasitas beban terpasang besar sampai ribuan kva).

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.

**METODOLOGI PENELITIAN**

Pada divisi Garmen, suplai tenaga listrik berasal dari transformator 5A dan 5B. Suplai dari PLN 20 kV yang berada di power house dialirkan ke transformator 5A dan 5B, tegangan 20 kV diturunkan melalui transformator kemudian didistribusikan ke masing–masing panel yang ada dipabrik garmen untuk menyuplai penerangan dan sumber daya beban-bebannya,seperti ditunjukkan gambar 3.



Gambar 3. Single Line Jalur Distribusi Beban Divisi Garmen

Dari hasil pengukuran pada beban panel yang terhubung pada sisi Transformator 5A dan 5B,maka hasilnya akan di simulasikan dengan menggunakan software ETAP (Electrical Transient Analyzer Program). Dari simulasi ini digunakan untuk mendapatkan nilai tegangan sistem, aliran daya (kVA, kVAR, KW), faktor daya (cos φ ), arus listrik (A),dan rugi-rugi daya. Dari hasil perhitungan parameter-parameter diatas akan dapat dilakukan untuk memperbaiki sistem kelistrikan guna meningkatkan power quality sistem dan perbaikan faktor daya dengan pemasangan kapasitor bank.

**HASIL DAN PEMBAHASAN**

1. **Hasil Analisa Aliran Daya**

Hasil simulasi ETAP untuk mengetahui besarnya pembebanan pada tiap bus di tunjukkan pada tabel 1 di bawah :

****

Dari gambar Single line diagram pada sisi bus 1 dapat dijelaskan aliran daya pada tiap-tiap bus :

P + jQ = V I \*

* Bus 1 (ITotal) : P + jQ = 1016 + j860
* Bus 2 dan 4 sisi transformator 5A (I1) : P + jQ = 822 + j705
* Bus 3 sisi transformator 5B(I2) : P + jQ = 194 + j155

 Besarnya daya total tiap-tiap bus : S = P + jQ

* Bus 1 : S = 1016 kW+ j860 kVAR

 S = 1385. 2 ∠38.375

PF = cos ( 38.375 ) = 0.783

* Bus 2 & 4 : S = 822 kW+ j705 kVAR S = 1082.9 ∠40.618

PF = cos ( 40.618 ) = 0.759

* Bus 3 : S = 194 kW+ j155 kVAR

S = 248.3 ∠38.623 ; PF = cos ( 38.623 ) = 0.781

Berdasarkan hasil simulasi aliran daya diatas, didapatkan bahwa kualitas faktor daya masih rendah. Sehingga untuk memperbaiki faktor daya, perlu dipasang kompensator berupa kapasitor bank. Metode peletakan kapasitor yang di pilih adalah group compensation, karena biaya pemasangannya rendah, kapasitor dapat dimanfaatkan sepenuhnya dan biaya pemeliharaannya juga rendah. Dimana letak pemasangan kompensator dapat dibagi menjadi dua tempat yaitu pada sisi output transformator 5A dan 5B (bus 2, 3, dan 4).

**Hasil Perhitungan Kompensator sebagai perbaikan faktor daya dengan metode numerik**

Tabel 1. Hasil Simulasi Pembebanan Tiap Bus

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| ID | Teg. nominal (kV) | P (MW) | Q (Mvar) | S (MVA) | % PF |
| Bus1 | 20.000  | 1.016  | 0.860  | 1.331  | 76.3  |
| Bus2 | 0.380  | 0.808  | 0.627  | 1.023  | 79.0  |
| Bus3 | 0.380  | 0.193  | 0.150  | 0.244  | 79.0  |
| Bus4 | 0.380  | 0.415  | 0.322  | 0.525  | 79.0  |

Dari hasil simulasi pada tabel 1, maka dilakukan usaha untuk perbaikan faktor daya menjadi 0.95 dengan menghitung besarnya kompensator kapasitor yang harus dipasang :

* *Pada bus 2*

Jika Cos φ2 = 0.95 sehingga tan φ2 = 0.33 , maka Q akhir = 808 \* 0,33 = 266,64 kVAR

Sehingga besar kapasitor yang diperlukan adalah :

Q kapasitor = 627 – 266,64 = 360.36 kVAR

* *Pada bus 3*

Jika Cos φ2 = 0.95 sehingga tan φ2 = 0.33 maka Q akhir = 193 \* 0,33 = 63.69 kVAR

Sehingga besar kapasitor yang diperlukan adalah :

Q kapasitor = Q awal – Q akhir = 150 – 63,69 = 86.31 kVAR

* *Pada bus 4*

Jika Cos φ2 = 0.95 sehingga tan φ2 = 0.33 maka Q akhir = 415 \* 0,33 = 136.95 kVAR

Sehingga besar kapasitor yang diperlukan adalah :

Q kapasitor = Q awal – Q akhir = 322 – 136,95 = 185.05 kVAR

**Hasil Perhitungan Kompensator sebagai perbaikan faktor daya dengan metode tabel**

* *Pada bus 2*

Jika Cos φ2 = 0.95 dan Cos φ1 = 0.79, dengan faktor pengali sebesar 0.45 akan dihasilkan

Q kapasitor = 0.45 x 808 = 363.6 kVAR

* *Pada bus 3*

Jika Cos φ2 = 0.95 dan Cos φ1 = 0.79, dengan faktor pengali sebesar 0.45 akan dihasilkan

Q kapasitor = 0.45 x 193 = 86.85 kVAR

* *Pada bus 3*

Jika Cos φ2 = 0.95 dan Cos φ1 = 0.79,dengan faktor pengali sebesar 0.45 akan dihasilkan

Q kapasitor = 0.45 x 415 = 186. 75 kVAR

Setelah dilakukan simulasi maka perbaikan power faktor dapat dihitung dan di aplikasikan kembali untuk simulasi.

Tabel 2. Tabel hasil simulasi pembebanan tiap bus setelah pemasangan kapasitor

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| ID | Teg. Nominal (kV) | P (MW) | Q (Mvar) | S (MVA) | % PF |
| Bus1 | 20.000  | 1.072  | 0.276  | 1.107  | 96.8  |
| Bus2 | 0.380  | 0.866  | 0.169  | 0.883  | 98.2  |
| Bus3 | 0.380  | 0.196  | 0.067  | 0.207  | 94.6  |
| Bus4 | 0.380  | 0.444  | 0.169  | 0.475  | 93.5  |

Dari hasil simulasi diperoleh kualitas faktor daya yang baik adalah PF > 0,9. Dengan penambahan kapasitor, daya listrik yang dipakai semakin besar karena diserap oleh kapasitor itu sendiri dan juga menyebabkan menurunnya daya reaktif. Besarnya daya total yang masih bisa digunakan (available power) ditunjukan pada tabel 3.

Tabel 3. Daya total sistem setelah dan sebelum pemasangan kapasitor

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| ID | Teg Nominal (kV) | S(MVA)  |
| Akhir (S2) | Awal (S1) | ΔS |
| Bus1 | 20 | 1.331 | 1.107 | 0.224 |
| Bus2 | 0.38 | 1.023 | 0.883 | 0.14 |
| Bus3 | 0.38 | 0.244 | 0.207 | 0.037 |
| Bus4 | 0.38 | 0.525 | 0.475 | 0.05 |

Dari tabel 3 diketahui bahwa perbaikan power faktor yang telah dilakukan dapat meningkatkan besarnya (available power) pada sistem,sehingga pabrik PT Eratex Djaja dapat menggunakan sisa daya yang tersedia untuk kebutuhan beban lainnya.

**Hasil Rugi Jaringan**

Sebelum dan sesudah penambahan kapasitor di peroleh rugi jaringan sebagai berikut ini .

Tabel 4. Rugi Jaringan sebelum pemasangan kapasitor

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| ID | kW | kVAR |
| T - 5A | 13.5  | 78.0  |
| T-5B | 0.9  | 5.1  |
| BUSBAR | 0.7  | 0.3  |
| TOTAL  | 15.1  | 83.5  |

Tabel 5. Rugi Jaringan setelah pemasangan kapasitor

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| ID | kW | kVAR |
| T - 5A | 9.3  | 53.8  |
| T-5B | 0.6  | 3.6  |
| BUSBAR | 0.5  | 0.1  |
| TOTAL  | 10.5  | 57.5  |

Besarnya tegangan pada Jaringan dari hasil simulasi ditunjukkan tabel 6 :

 Tabel 6. Besarnya nilai tegangan pada bus 2 dan 4

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| **No bus** |  | **Tegangan simulasi (kV)** | **% Drop** **Tegangan** |
| **Teg nominal (kV)** |
|  | **Awal** | **Akhir** | **Awal** | **Akhir** |
| Bus 2 | 0.38 | 0.359 | 0.372 | 94.5 | 97.8 |
| Bus 4 | 0.38 | 0.358 | 0.371 | 94.3 | 97.6 |

Tabel 6 menunjukkan terjadinya undervoltage,di mana tegangan operasional beban berada diatas tegangan nominal beban. Hal ini di sebabkan oleh kebutuhan daya beban melebihi kapasitas suplai daya listrik yang ada. Sehingga akan menimbulkan panas berlebih (overheating) khususnya pada motor seperti yang terjadi pada bus 2 dan 4,dimana tegangannya sudah meningkat menjadi diatas 370 volt. Dengan adanya penambahan kapasitor pada bus 2 dan 4, maka tegangan operasional pada jaringan dapat diperbaiki dan persentase drop tegangannya akan semakin besar pula.

**Hasil Perhitungan Biaya Listrik**

Pada bulan desember 2010 total pemakaian pada saat LWBP selama 582 jam (asumsi beban ditransformator lain adalah 79,46kW dan untuk perhitungan digunakan total kWH dari LWBP)**.** Berdasarkan tarif PLN tahun 2010, tarif per kWH adalah Rp 680 / kWH pada saat beban LWBP (beban harian) dan Rp 1020 / kWH pada saat beban WBP (waktu beban puncak) serta untuk per kVARh di kenakan Rp 735.

**PEMBAHASAN
Sebelum Sistem dipasang Kapasitor Bank**

Besarnya total energi yang terpakai adalah 637,560 kWH dan 320,880 kVARh (dari rekening terakhir).sehingga biaya pemakaiannya adalah :

1. LWBP = 637,560 x Rp 680 = Rp 433,540,800
2. kVARh = 320,880 x Rp 735 = Rp 235,846,800

Karena kVARh > kWH, maka akan dikenakan biaya penggunaan kVAR,sehingga total biaya yang harus di keluarkan dalam bulan terakhir adalah Rp 669,387,600,-.

 **Sesudah pemasangan Kapasitor Bank**

Berdasarkan analisa pada sub bab aliran daya, setelah dipasang kapasitor bank pemakaian kVARh tidak dikenakan karena kVARh < kWH. Dimana pemakaian kWH setelah kompensasi adalah 670,152 kWH dan 102,980 kVARh (dari hasil simulasi aliran daya).

Sehingga biaya yang dikeluarkan adalah : LWBP = 670,152 x Rp 680 = Rp 455,703,360

Sehingga diperoleh selisih biaya pemakaian listrik sebelum kompensasi dan setelah kompensasi selama satu bulan adalah : Rp 669,387,600 – Rp 455,703,360 = Rp 213,684,240,-

Dengan pemasangan kapasitor bank pada sistem, dapat diperkiraan besarnya investasi yang telah di lakukan adalah sebesar Rp 48,426,000,-

Jika beban keseluruhan tetap,maka pada bulan pertama perusahaan memiliki keuntungan sebesar Rp 213,684,240 – Rp 48,426,000 = Rp 165,258,240,-,sehingga total penghematan biaya listrik dalam satu tahun sebesar Rp 165,258,240. + (11 x Rp 213,684,240.) = Rp 2,515,784,880,-.

**KESIMPULAN**

Setelah melakukan simulasi dan analisa data maka dapat di peroleh kesimpulan sebagai berikut :

1. Besarnya kapasitor bank yang di pasang antara perhitungan metode numerik dengan metode tabel Pada bus 2 ,3 dan 4 masing-masing sebesar 360 , 90 dan 180 kVAR.
2. Pada sisi bus 2,3 dan 4 besarnya Faktor daya diatas 0.9.
3. Besarnya pemakaian daya reaktif total pada sistem berkurang, sehingga pemakaian daya aktifnya juga berkurang sehingga dapat meningkatkan available power pada sistem.
4. Rugi-rugi daya sistem dapat di tekan karena arus total berkurang menjadi 10.5 kW dan 57.5 kVAR.
5. Kondisi undervoltage dapat di atasi dengan perubahan tegangan menjadi diatas 371 volt pada sisi bus 2 dan 4.
6. Ada penghematan biaya operasional yang diperoleh perusahaan selama satu bulan sebesar Rp 213, 684,240,-,sehingga total penghematan yang di peroleh dalam satu tahun sebesar Rp 2,515,784,880,-.

**DAFTAR PUSTAKA**

**Crothall Asset Management, Inc. (CAM),** *Energy Insfrastructure Upgrades Equate to Major Cost Savings*, < http: //www.crothall.com> accessed November 14th, 2010.

**Dugan,Roger C** (1996),”*Konsep Kualitas Daya Listrik*,”.

**Firmansyah, Ifhan**, “*Studi Pemasangan Kapasitor Bank Untuk Perbaikan Faktor Daya PT. Asian Profile Indosteel*”, Skripsi Jurusan teknik Elektro FTI ITS Surabaya, 2010.

**Hasan, Rahman Rifai and Hermawan, Hermawan and Handoko, Susatyo**, “Analisis Pengaruh Pemasangan Kompensator Kapasitor Seri Terhadap Stabilitas Sistem Smib Dan Sistem IEEE 14 Bus”, Undergraduate thesis Jurusan Teknik Elektro Fakultas Teknik Undip, 2011.

**IEEE Standart 18**, “ *IEEE Standart for Shunt Power Capacitor*”, 1980.

**Irwin Lazar**, “*Electrical System Analysis and Design For Industrial Plants*”, Mc Graw-Hill Book Company, 1980.

**Ismail, Nur**,  “*Analisis Perbaikan Faktor Daya Untuk Penghematan Biaya Listrik Di PT. Pertamina Instalasi Surabaya Group*”, Skripsi Jurusan teknik Elektro FTI ITS Surabaya, 2010.

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

**Vogt, Lawrence J. And Conner, David A**, “*Electrical Energy Management*”, Lexington Books, D.C. Health and Company Lexington, Massachusetts Toronto, 1997.