

## ANALISA OPTIMALISASI PENEMPATAN KAPASITOR BANK PADA JALUR DISTRIBUSI CHF 3 PT. BUKIT ASAM (PERSERO) TBK

Ridho Widodo<sup>1)</sup>, Wahyudi Budi Pramono<sup>2)</sup>

Prodi Teknik Elektro, Fakultas Teknologi Industri Universitas Islam Indonesia Yogyakarta,

<sup>1)</sup>14524046@students.uii.ac.id, <sup>2)</sup>985240104@uui.ac.id

### Abstrak

Beban listrik di industri lebih banyak bersifat induktif. Penggunaan beban yang bersifat induktif dalam kapasitas besar ini dapat menyebabkan penurunan faktor daya, memperbesar jatuh tegangan dan rugi-rugi daya. Salah satu upaya untuk memperbaiki faktor daya, mengurangi jatuh tegangan dan juga rugi-rugi daya dilakukan dengan pemasangan kompensasi daya reaktif yang cukup dalam sistem tersebut. Penelitian ini dilakukan pada jaringan distribusi CHF 3 PT Bukit Asam (persero) tbk dengan beban terbesar berupa motor induksi. Metode penelitian yang digunakan adalah menghitung kebutuhan daya reaktif keseluruhan dalam sistem agar nilai faktor daya > 0,95. Lokasi penempatan kompensasi daya reaktif dibandingkan antara di *incoming feeder* dengan di subdistribusi. Parameter yang diamati adalah faktor daya, besarnya jatuh tegangan di setiap bus dan rugi rugi daya total dalam sistem. Perhitungan parameter dengan menggunakan bantuan perangkat lunak ETAP 12.6. Analisis ekonomi dilakukan terhadap penambahan kompensasi daya reaktif tersebut. Hasil penelitian menunjukkan bahwa pemasangan kompensasi daya reaktif di *incoming feeder* sebesar 1300 kVAR menghasilkan faktor daya 0,96 *lagging*, total rugi rugi daya sebesar 62,7 kW, tegangan terendah pada bus 37 sebesar 19,8 kV dan biaya pemasangan Rp. 864.000.000,-. Sedangkan pemasangan kompensasi daya reaktif di subdistribusi sebesar 1304 kVAR menghasilkan faktor daya 0,96 *lagging*, total rugi rugi daya sebesar 57 kW, tegangan terendah pada bus 37 sebesar 19,811 kV dan biaya pemasangan sebesar Rp. 836.680.000,-.

**Kata Kunci :** daya reaktif, faktor daya, jatuh tegangan, rugi-rugi daya, ekonomi.

### Abstract

*The electricity load in the industry is mostly inductive. The use of inductive loads in this large capacity can lead to a decrease in power factor, increasing the voltage drop and power losses. One effort to improve the power factor, reduce the voltage drop and also the power losses is done by the installation of sufficient reactive power compensation in the system. This research was conducted on the distribution network of CHF 3 PT Bukit Asam (persero) tbk with the largest load of induction motors. The research method is used by calculating the overall reactive power requirement in the system so that the power factor value is greater than 0.95. The location of reactive power compensation placement is compared between incoming feeder and subdistribution. The parameters observed are the power factor, the magnitude of the voltage drop across each bus and the total loss loss in the system. Calculation of parameters using ETAP 12.6 software help. Economic analysis is carried out on the addition of such reactive power compensation. The results showed that the installation of reactive power compensation in incoming feeder of 1300 kVAR resulted in 0.96 lagging power factor, total loss of power loss of 62.7 kW, the lowest voltage on bus 37 of 19.8 kV and installation cost of Rp. 864.000.000, -. The reactive power compensation in subdistribution of 1304 kVAR resulted in 0.96 lagging power factor, total loss of power of 57 kW, the lowest voltage on bus 37 of 19,811 kV and installation cost of Rp. 836.680.000,.*

**Keywords:** reactive power, power factor, voltage drop, power loss, economy.

## PENDAHULUAN

Listrik adalah perpindahan elektron negatif kepositif atau sebaliknya yang menghasilkan suatu energi, dan energi inilah yang digunakan untuk berbagai macam kebutuhan, baik itu kebutuhan komersial maupun kebutuhan industri. Energi listrik ini berasal dari berbagai macam bentuk energi lain. Misalnya energi gerak berubah menjadi energi listrik. Energi gerak berasal dari berbagai sumber misalnya angin, air, dan uap. Energi gerak tersebut digunakan untuk menggerakkan turbin generator. Uap sebagai penggerak turbin generator ini berasal dari perubahan zat cair menjadi gas yang harus membutuhkan energi panas untuk mengubah zat tersebut. Salah satu energi panas adalah dengan pembakaran batubara. Batubara ini digunakan sebagai bahan bakar untuk menghasilkan energi uap yang dapat memutar turbin generator.

Banyak perusahaan-perusahaan yang bergerak dibidang industri untuk kegiatan operasionalnya menggunakan motor listrik yang berkapasitas besar. Penggunaan motor listrik yang berkapasitas besar ini akan mempengaruhi besarnya faktor daya pada sistem kelistrikan. Nilai faktor daya yang kecil ini akan mengakibatkan energi yang dikirimkan ke beban tidak dipakai sepenuhnya oleh beban, yang mengakibatkan rugi rugi daya. Sedangkan nilai faktor daya yang besar (nilai maksimum factor daya = 1) akan membuat daya yang dikirim dari pembangkit untuk beban ini akan dipakai sepenuhnya, sehingga tidak terjadi rugi-rugi daya. Hal

inilah yang melatarbelakangi penulis untuk membahas tentang perbaikan faktor daya dengan menggunakan kapasitor bank pada jaringan distribusi diperusahaan industri yang menggunakan banyak beban motor listrik.

## TINJAUAN TEORI

Peningkatan yang terjadi pada kebutuhan dan pemakaian listrik yang baik dari segi kualitas dan kuantitas adalah salah satu faktor mengapa perusahaan penyedia listrik perlu memberi perhatian terhadap isu kualitas daya listrik. Terlebih pada konsumen perindustrian yang membutuhkan daya listrik yang baik dari segi kontinuitas dan juga kualitas tegangan yang dipasok untuk mesin mesin pada perindustrian. Karena mesin mesin perindustrian ini sangat sensitif terhadap lonjakan atau ketidak stabilan tegangan yang terjadi pada aliran daya listrik. Kualitas daya listrik ini merupakan gambaran bagus atau tidaknya suatu system tenaga listrik dalam mengatasi gangguan gangguan pada system tersebut (J. T. Elektro, Teknik, and Oleo 2015).

Masalah yang timbul karena kualitas daya yang tidak baik akan mengakibatkan masalah lonjakan atau perubahan tegangan, arus dan frekuensi yang akan menimbulkan kegagalan pada peralatan sistem tenaga listrik. Kegagalan tersebut akan merusak peralatan sistem tenaga listrik baik dari sisi pengirim maupun dari sisi penerima. Untuk mengatasi masalah tersebut maka harus mempunyai sistem tenaga listrik yang baik (J. T. Elektro, Teknik, and Oleo 2015).

### Daya

Faktor daya ( $\cos \theta$ ) adalah perbandingan antara daya aktif dan daya reaktif yang digunakan pada sistem *Alternating current* (AC) atau beda fase antara tegangan dan arus. Besarnya nilai faktor daya dapat ditentukan dengan rumus (1). Faktor daya merupakan besaran yang menunjukkan besar efisiensi dalam menyalurkan daya yang akan digunakan. Faktor daya yang baik mendekati angka 1 dan sebaliknya faktor daya yang buruk turun yang mendekati nilai 0. Apabila faktor daya jelek maka sistem akan membangkitkan daya yang lebih besar untuk memenuhi permintaan daya aktif. Faktor daya yang rendah ini dapat disebabkan oleh pengoperasian beban induktif yang diakibatkan oleh motor induksi dan unit lain yang memerlukan arus magnetisasi yang aktif.

$$\text{faktor daya} = \frac{\text{Daya aktif (P)}}{\text{Daya semu (S)}} = \frac{V I \cos \theta}{VI} = \cos \theta \quad (1)$$

Besarnya faktor daya pada keadaan *lagging* adalah (2) dan perbaikan faktor daya juga dapat dilakukan dengan metode perhitungan segitiga daya seperti persamaan (3)-(5).

$$\cos \theta = \frac{P}{S}, \quad (2)$$

yaitu:

$$Q_1 = \sqrt{S_1^2 - P^2} \quad (3)$$

$$Q_2 = \sqrt{S_2^2 - P^2} \quad (4)$$

$$Q_c = Q_1 + Q_2 \quad (5)$$

Untuk mentukan nilai kapasitor bank dari setiap stepnya maka dapat dilakukan dengan perhitungan seperti persamaan (6), dan untuk mengetahui nilai dari kapasitor digunakan persamaan (7).

$$Q_{step} = \frac{Q_c (total)}{juml \ step} \quad (6)$$

$$C = \frac{Q}{-V^2 \times 2 \pi F} \quad (7)$$

### Metode Pemasangan Kapasitor Bank

Pemasangan kapasitor bank dilakukan dengan 3 cara yaitu metode *global compensation*, *group compensation*, dan *individual compensation*(J. T. Elektro, Teknik, and Oleo 2015), yaitu :

- Global compensation* adalah metode yang dilakukan dengan menempatkan kapasitor bank pada pusat sistem distribusi, akibatnya arus yang mengalir turun hanya diantara sistem pusat distribusi dan transformator sehingga arus setelah lewat sistem distribusi tidak dipengaruhi. Kelebihan dari metode ini yaitu pemanfaatan kompensasi daya dari kapasitor lebih baik karena beban tidak bekerja secara bersamaan dan biaya untuk perawatan dari kapasitor lebih rendah.
- Group compensation* adalah metode ini dilakukan dengan cara memasang kapsitor bank pada subdistribusi. Metode ini lebih baik dipasang pada beban lebih dari ribuan KV<sub>a</sub>. Kelebihan dari metode ini adalah biaya pemasangan yang rendah tetapi kapasitas pemasangan dapat dipakai sepenuhnya. Kelemahan dari metode ini adalah perlunya pemasangan kapasitor bank pada setiap subdistribusi dan hanya memberikan kompensasi secara *upstream*.
- Individual compensation* adalah metode ini dilakukan dengan cara memasang kapasitor bank pada setiap beban. Metode ini lebih baik karena langsung terpakai oleh beban langsung. Kelebihan dari metode ini yaitu meningkatkan kapasitas daya pada saluran, mengurangi drop tegangan pada saluran dan penyakelaran antara kapasitor dan beban dapat dilakukan secara bersamaan. Biaya pemasangan kapasitor yang mahal, kapasitas kapasitor tidak seutuhnya terpakai arus transien yang tinggi karena penyakelaran yang bersamaan.

### Perhitungan Tarif Daya Listrik

Tarif daya listrik (TDL) adalah harga yang telah ditetapkan oleh pemerintah untuk pelanggan listrik dari perusahaan listrik negara (PLN). Tarif daya listrik ini dibagi menjadi dua golongan yaitu golongan tarif daya listrik subsidi dan golongan tarif daya listrik non subsidi. Untuk perusahaan PTBA termasuk dalam golongan golongan tarif daya listrik nonsubsidi. PTBA mempunyai kontrak daya dengan PLN sebesar 20 MW sehingga termasuk dalam golongan tarif I-3/TM yang mempunyai tarif sebesar Rp. 1035.78/kWh dan apabila faktor dayanya kurang dari 0,85 maka akan dikenakan denda dengan membayar Rp. 1114.74/kVARh (Dasar *et al*, 2018). Untuk melakukan perhitungan tarif daya listrik dapat dilakukan dengan menggunakan persamaan (8)-(11).

$$\text{Biaya WBP} = K \times \text{Biaya pemakaian (kWh)} \times \text{Daya terpakai (KW)} \times \text{Waktu pemakaian} \quad (8)$$

$$\text{Biaya LWBP} = \text{Biaya pemakaian (kVARh)} \times \text{Daya terpakai (KW)} \times \text{Waktu pemakaian} \quad (9)$$

$$\text{Biaya total} = \text{Biaya WBP} + \text{Biaya LWBP} \quad (10)$$

$$\text{Biaya KVAR} = \text{Biaya pemakaian (kWh)} \times \text{Daya terpakai (KW)} \times \text{Waktu pemakaian} \quad (11)$$

Dengan nilai :

Biaya WBP = Biaya waktu beban puncak.

Biaya LWBP = Biaya luar waktu beban puncak.

K =  $1.4 \leq K \leq 2$ , faktor perbandingan antara harga WBP dan LWBP Berdasarkan ketentuan dari PLN.

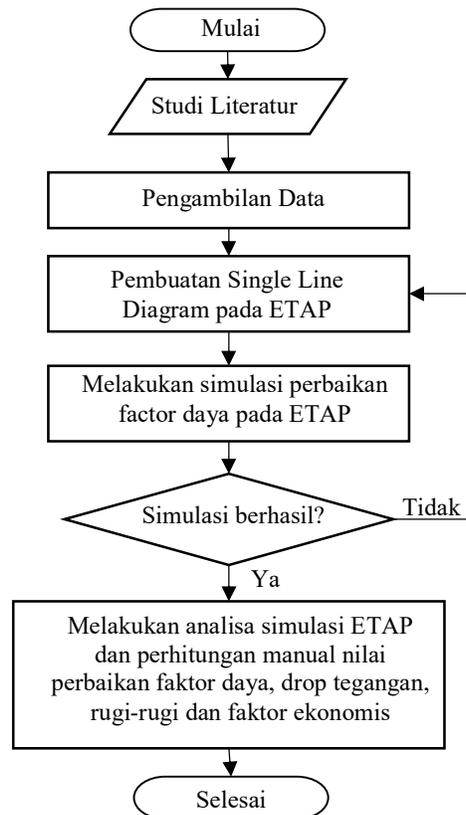
Karena PT. bukit asam termasuk dalam golongan I-3/TM maka apabila faktor daya berada dibawah 0,85 akan dikenakan denda biaya kVAR. Untuk mengetahui denda yang harus dibayar dapat menggunakan persamaan (11).

### METODE

Bab ini akan menerangkan tentang jalannya penelitian yang akan dilakukan nantinya. Gambar 1 menunjukkan diagram alir penelitian yang dilakukan penulis. Dalam melakukan penelitiannya penulis membutuhkan data-data yang mendukung untuk melakukan analisa aliran daya. Data yang diperlukan untuk membuat *one line diagram* pada ETAP antara lain data daya yang terpasang, data trafo, data beban dan data jaringan. Data inilah yang nantinya akan disimulasikan oleh ETAP agar sesuai dengan yang ada dilapangan. Kemudian dijalankan *load flow analysis* pada ETAP. Dengan hasil *load flow analysis* yang dihasilkan oleh ETAP akan dijadikan dasar dalam menentukan lokasi kapasitor bank, ukuran, jumlah unit kapasitor dan juga nilai ekonomisnya.

Setelah melakukan simulasi *load flow analysis* pada ETAP tanpa menggunakan kapasitor maka selanjutnya penulis melakukan *load flow analysis* menggunakan kapasitor bank. Penulis menerapkan 2 metode penempatan kapasitor bank yaitu penempatan kapasitor secara *global compensation* (dipusat sistem distribusi) dan *group compensation* (disubdistribusi). Setelah menjalankan *load flow analysis* pada ETAP dengan menggunakan kapasitor bank maka akan didapatkan data berupa faktor daya, *drop* tegangan, *losses*.

Hasil dari ketiga *load flow analysis* ini akan dibandingkan berdasarkan faktor daya, drop tegangan, losses dan juga faktor ekonomisnya. Dengan mempertimbangkan dari keempat faktor tersebut maka optimalisasi penempatan kapasitor bank yang baik dapat diketahui.



Gambar 1. Diagram alir metode penelitian

## HASIL DAN PEMBAHASAN

### Data Beban

Data beban yang digunakan diperusahaan PT.Bukit Asam (persero) tbk akan ditampilkan pada Tabel 1 dan 2.

Tabel1. Data Beban Pada Daerah Briket Baru

Jenis Beban	Trafo (kVA)	Beban (kW)	Tegangan (V)
Motor Induksi 1	1000	340	380
Penerangan 1		85	220
Motor Induksi 2	1250	510	380
Penerangan 2		127,5	220
Motor Pompa KSB	700	355	500

Tabel 2. Data Beban SBS

Jenis Beban	Trafo (kVA)	Beban (kW)	Tegangan (V)
Motor CV-4	500	45	380
Motor CV-5		55	380
Motor RF-1		90	380
M4		0,75	380

**Tabel 3. Data Beban Pada Daerah SUB I**

Jenis Beban	Trafo (kVA)	Beban (kW)	Tegangan (V)
Motor <i>Feeder Breaker</i> 1		150	380
Motor <i>Feeder Breaker</i> 2		150	380
Motor <i>Heat Exchanger</i>		0,75	380
Motor CV-1		55	380
Motor CV-2	1000	55	380
Motor CV-3		55	380
Motor Magnet <i>Trolley</i> CV-1		9	380
Motor Magnet <i>Trolley</i> CV-2		9	380
Motor <i>Belt Flow</i> CV-3		1,65	380
Motor Pompa Air		37	380
Motor SBR	200	100	380

**Tabel 4. Data Beban Pada Daerah SUB III**

Jenis Beban	Trafo (kVA)	Beban (kW)	Tegangan (V)
Motor CV-5	1000	500	380
Penerangan	160	90	220

**Tabel 5. Data Beban Pada Daerah SUB II**

Jenis Beban	Trafo (kVA)	Beban (kW)	Tegangan (V)
Motor CV-4		150	380
Motor RF-1		9	380
Motor RF-2	500	9	380
Motor RF-3		9	380
Motor Magnet <i>Trolley</i> CV-4		9	380

**Tabel 6. Data Beban Pada Daerah SUB IV**

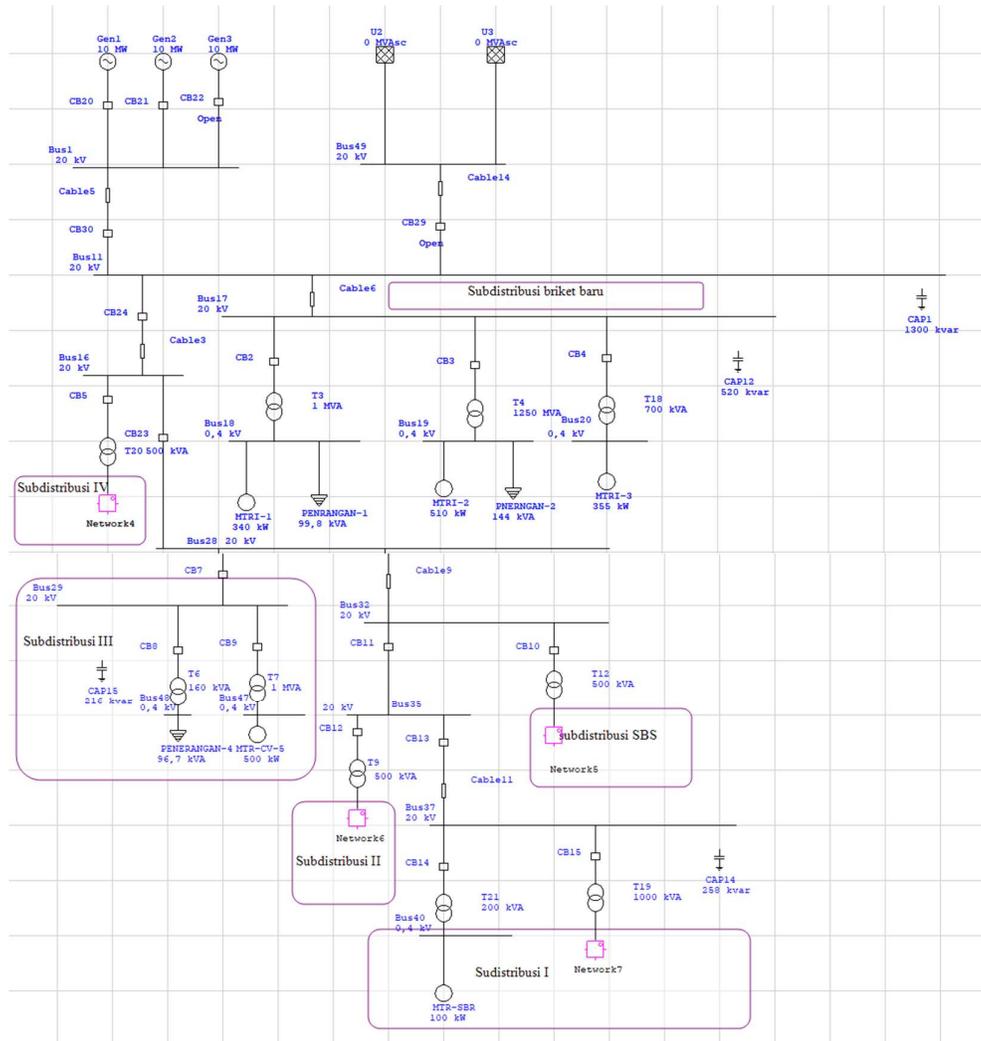
Jenis Beban	Trafo (kVA)	Beban (kW)	Tegangan (V)
Motor CV-6		315	
Motor <i>Load Cut Hydraulic</i>	500	37	380
Motor <i>Washdown Pump</i>		18,5	

### Aliran Daya

Pada sistem operasionalnya PT Bukit Asam menggunakan dua buah sumber daya listrik, yaitu pembangkit listrik tenaga uap (PLTU) milik perusahaan yang mempunyai kapasitas sebesar  $3 \times 10$  MW dan menggunakan cadangan tenaga listrik PLN dengan kontrak daya sebesar 20 MW tegangan 20 kV. Langkah awal untuk melakukan simulasi yaitu dengan memasukkan data yang ada di Tabel 1-6 dan membuat rangkaian jaringan seperti yang ada diperusahaan PTBA pada jalur CHF 3.

Setelah membuat diagram segaris dan memasukkan data yang ada langkah selanjutnya adalah melakukan simulasi pada program ETAP. Simulasi ini dilakukan untuk mengetahui aliran daya dari sumber PLTU maupun dari PLN ke beban CHF 3. Gambar 2 merupakan hasil dari simulasi aliran daya pada jaringan CHF 3 sebelum menggunakan kapasitor bank.

Berdasarkan dari hasil perhitungan aliran daya dengan menggunakan data dari ETAP, daya aktif yang mengalir sebesar 3377,15 kW dan daya reaktif sebesar 2146,1036 kVAR dengan faktor daya sebesar 0,844. Terlihat bahwa sebelum adanya kompensasi daya reaktif dari kapasitor bank nilai faktor daya dari sistem tersebut masih rendah yaitu dibawah standard dari ketetapan PLN yaitu sebesar 0,85. disini penulis akan membandingkan 2 metode pemasangan kapasitor bank yang paling optimal yaitu metode pemasangan *global compensation* dan metode pemasangan *group compensation* dengan mempertimbangkan nilai faktor daya, *losses*, profil tegangan, dan juga dari faktor ekonominya.



Gambar 2. Diagram segaris simulasi CHF 3

### Perbaikan Faktor Daya

Perbaikan faktor daya dilakukan dengan cara meningkatkan nilai  $\cos \phi$ . Disini penulis membandingkan 2 metode penempatan kapasitor bank yaitu penempatan kapasitor *global compensation* dan penempatan kapasitor *group compensation*. Berdasarkan hasil simulasi aliran daya sebelum adanya kapasitor bank yaitu daya aktif yang mengalir sebesar 3377,15 kW dan daya reaktif sebesar 2146,1036 kVAR dengan faktor daya 0,844.

### Penempatan kapasitor bank *global compensation*

Pada penempatan kapasitor bank *global compensation* ini langkah pertama yang dilakukan adalah menetapkan faktor daya yang diinginkan. Penulis menetapkan faktor daya minimal 0,95 untuk mengurangi losses dan juga untuk mengantisipasi apabila ada beberapa beban yang tidak beroperasi sehingga faktor daya masih dalam kondisi normal. Berdasarkan hasil simulasi sebelum adanya kapasitor bank  $P_{total} = 3377,15 \text{ kW}$ ,  $Q_{total} = 2146,1036 \text{ kVAR}$ , Faktor daya = 0,844 dan  $S_{total} = 4001,3626 \text{ kVA}$ . Untuk mendapatkan nilai faktor daya minimal 0.95 maka diperlukan kompensasi daya reaktif. Untuk mengetahui kompensasi daya reaktif yang dibutuhkan dapat dilakukan perhitungan sehingga didapatkan kompensasi daya reaktif sebesar 1300 kVAR.

Penulis menentukan pembagian menjadi 3 step terhadap bank kapasitor, yang berarti bank kapasitor ini bekerja dengan tiga tahapan, dimana yang bekerja awal adalah step pertama, bila step pertama kurang untuk mengkompensasi daya reaktif yang dibutuhkan maka step kedua akan bekerja dan bila step kedua masih kurang untuk mengkompensasi daya reaktif yang dibutuhkan maka step ketiga akan bekerja. Dengan menggunakan persamaan maka didapatkan nilai kompensasi daya reaktifnya sebesar 433 kVAR pada setiap *step*-nya dan untuk mengetahui nilai kapasitor bank pada setiap *step*-nya dapat dilakukan perhitungan yang hasilnya sebesar

$3,44.10^{-6}$  farad. Berdasarkan simulasi pemasangan kapasitor *group compensation* faktor daya total pada seluruh beban menjadi 0,961 yang sebelum pemasangan kapasitor bank mempunyai faktor daya 0,844.

#### Penempatan kapasitor bank *group compensation*

Pada penempatan kapasitor bank *group compensation* ini dibagi menjadi 6 tempat antara lain : subdistribusi briket baru, subdistribusi SBS, subdistribusi I, subdistribusi II, subdistribusi III dan subdistribusi IV. Dengan penempatan kapasitor bank *group compensation* ini maka langkah pertama adalah mengklompokan beban yang terhubung pada bagian subdistribusi, kemudian dilakukan perhitungan beban total pada bagian beban yang terhubung pada jaringan subdistribusi tersebut sehingga didapatkan hasil seperti pada Tabel 7.

**Tabel 7. Nilai kompensasi daya reaktif dan kapasitor *group compensation***

No	Posisi kapasitor bank	Kompensasi daya reaktif	Nilai kapasitor
1	Subdistribusi briket baru	520 kVAR	$4.14 \times 10^{-6}$ farad
2	Subdistribusi SBS	85 Kvar	$1.69 \times 10^{-3}$ farad
3	Subdistribusi I	257 Kvar	$2.046 \times 10^{-6}$ farad
4	Subdistribusi II	71 Kvar	$1.41 \times 10^{-3}$ farad
5	Subdistribusi III	216 Kvar	$1.72 \times 10^{-6}$ farad
6	Subdistribusi IV	153 Kvar	$3.05 \times 10^{-3}$ farad

Berdasarkan simulasi pemasangan kapasitor bank pada *group compensation* ini faktor daya total pada seluruh beban menjadi 0,961 yang sebelum pemasangan kapasitor bank mempunyai faktor daya 0,84. Pemasangan kapasitor bank *group compensation* dan *global compensation* mempunyai faktor daya yang sama yaitu sebesar 0,961.

#### Profil Tegangan

Jatuh tegangan adalah besarnya tegangan yang hilang dalam suatu penghantar. Dengan simulasi yang dilakukan di ETAP dapat membandingkan profil tegangan yang terjadi sebelum pemasangan kapasitor, setelah pemasangan kapasitor pada *global compensation* dan pemasangan kapasitor pada *group compensation*. Dengan demikian dapat dilihat profil tegangan yang paling rendah diantara dua metode tersebut.

**Tabel 8. Perbandingan profil tegangan**

No	Lokasi	Vd tanpa kapasitor (%)	Vd kapasitor bank <i>Global Compensation</i> (%)	Vd kapasitor bank <i>Group compensation</i> (%)
1	Bus 11	0,56	0,49	0,49
2	Bus 9	3,76	3,76	2,29
3	Bus 16	0,22	0,22	0,19
4	Bus 17	0,3	0,3	0,27
5	Bus 18	1,98	1,97	1,97
6	Bus 19	0	0	0
7	Bus 20	2,48	2,47	2,47
8	Bus 32	0,22	0,22	0,2
9	Bus 48	3,62	1,94	1,94
10	Bus 47	1,94	2,43	2,43
11	Bus 34	2,43	3,62	1,46
12	Bus 37	3,62	0,07	0,06
13	Bus 36	0,07	1,86	1,17
14	Bus 39	1,86	2,93	2,93
15	Bus 40	2,93	2,4	2,4

Berdasarkan dari gambar hasil simulasi pada ETAP bisa dilihat pemasangan kapasitor bank ini dapat memperbaiki profil tegangan yang terjadi pada system kelistrikan. Yang dimana *standard* PLN yang telah ditetapkan yaitu untuk kenaikan tegangan sebesar +5% dan untuk jatuh tegangan sebesar -10% (J. M. Elektro et al, 2013). Berdasarkan hasil simulasi yang dilakukan tidak ada profil tegangan yang melebihi dari -10% jadi untuk profil tegangan masih dalam batasan normal. Tetapi bisa dilihat pada hasil simulasi untuk beberapa

wilayah dengan pemasangan kapasitor bank pada *group compensation* terjadi perbaikan profil tegangan yang sangat baik dibandingkan dengan pemasangan kapasitor bank pada *global compensation*.

### Perbaikan Rugi Rugi Daya

Berdasarkan hasil simulasi yang dilakukan pada program ETAP yang terlampir dapat dilihat rugi rugi daya yang terjadi. Pada simulasi ini terdapat dua rugi rugi daya, yaitu rugi rugi daya aktif dan rugi rugi daya reaktif. Sebelum dilakukan pemasangan kapasitor bank rugi-rugi daya aktif pada jaringan CHF3 PT Bukit Asam sebesar 67,9 Kw dan rugi rugi daya reaktif sebesar 145,9 kVar. Setelah pemasangan kapasitor bank *global compensation* rugi rugi daya aktif menjadi 62,6 KW, rugi rugi daya reaktif sebesar 143,3 Kvar, dan untuk pemasangan kapasitor bank *group compensation* rugi rugi daya aktif menjadi sebesar 57 Kw dan rugi rugi reaktif menjadi sebesar 130,2 Kvar. Dari data diatas dapat dilihat bahwa rugi rugi daya aktif dan reaktif yang paling kecil adalah dengan pemasangan kapasitor bank *group compensation*.

### Nilai Ekonomi

Faktor terakhir yang menjadi pertimbangan untuk penempatan kapasitor bank adalah faktor ekonomi. Disini penulis akan membandingkan biaya yang dibutuhkan untuk pembelian kapasitor bank dan juga membandingkan keuntungan pemasangan kapasitor bank ini dalam perhitungan ekonomi. Pada pemasangan kapasitor bank *global compensation* memerlukan 1300 kVAR dan 1304 kVAR untuk *group compensation* agar faktor daya minimal menjadi 0,95. Untuk perawatan dan operasi penulis menetapkan umur dari kapasitor bank adalah 10 tahun. Penempatan kapasitor bank *global compensation* pada tegangan 20 kV dan untuk penempatan kapasitor bank *group compensation* dibagi menjadi 6 penempatan yaitu 3 ditegangan 0,4 kV dan 3 ditegangan 20 kV. Sehingga didapatkan hasil perhitungan seperti data pada Tabel 9. Sedangkan berdasarkan daftar harga dari program ETAP dana yang dibutuhkan dalam perancangan kapasitor bank dapat dilihat pada Tabel 10.

**Tabel 9. Daftar harga perancangan kapasitor bank**

Rating tegangan (kv)	Harga/ kVAR	Pemasangan	Operasi/tahun
0,48	Rp. 140.000,-	Rp. 8.400.000,-	Rp. 1.400.000,-/bank
20,8	Rp. 560.000,-	Rp.16.800.000,-	Rp. 4.000.000,-/bank

**Tabel 10. Perhitungan biaya kapasitor bank**

No	Keterangan	Kapasitor bank <i>global compensation</i>	kapasitor bank <i>group compensation</i>
1	Harga total kapasitor	Rp. 728.000.000,-	Rp. 599.080.000,-
2	Harga instalasi	Rp. 16.000.000,-	Rp. 75.600.000,-
3	Harga operasi dan perawatan dalam 10 tahun	Rp. 120.000.000,-	Rp. 162.000.000,-
4	Total biaya	Rp. 1.864.000.000,-	Rp. 1.836.680.000,-

Berdasarkan dari data *losses* penulis membandingkan penghematan yang bisa dilakukan dari metode pemasangan kapasitor bank *global compensation* dan kapasitor bank *group compensation*. Kapasitor bank *global compensation* mampu melakukan penghematan daya aktif sebesar 5,3 kW dan daya reaktif sebesar 2,6 kVAR sedangkan kapasitor bank *group compensation* mampu melakukan penghematan daya aktif sebesar 10,9 kW dan daya reaktif sebesar 15,7 kVAR.

PT Bukit Asam menggunakan pembangkit dari PLN sebesar 20 MW sebagai cadangan dari sistem kelistrikan. Berdasarkan data perhitungan tarif daya listrik yang telah ditetapkan oleh perusahaan listrik negara. Maka penulis dapat menghitung penghematan ekonomi yang dapat dilakukan oleh pemasangan kapasitor *global compensation* dan *group compensation*. Dari data Tabel 9 maka didapatkan hasil perbandingan perhitungan biaya total kapasitor bank *global compensation* dan kapasitor bank *group compensation* seperti pada Tabel 11. Untuk harga perawatan penulis menetapkan jangka waktu 10 tahun.

**Tabel 11. Penghematan daya aktif dan reaktif kapasitor bank**

Penghematan	<i>Global compensation</i>	<i>Group compensation</i>
Daya aktif	Rp. 72.331.116/tahun	Rp. 148.757.040/tahun
Daya reaktif	Rp. 97.789.710/tahun	Rp. 153.732.444/tahun
total	Rp. 170.120.826/tahun	Rp. 302.489.484/tahun

Berdasarkan Tabel 11 terlihat penghematan yang paling besar dilakukan pada pemasangan kapasitor bank *group compensation*. Pemasangan kapasitor bank pada *group compensation* ini mampu melakukan penghematan sebesar Rp. 302.489.484/tahun sedangkan pemasangan kapasitor bank pada *global compensation* sebesar Rp. 170.120.826/tahun.

Berdasarkan data dari ETAP apabila perusahaan PT Bukit Asam tidak menggunakan kapasitor bank maka akan dikenakan denda oleh PLN dikarenakan faktor daya pada sistem kelistrikan PT Bukit Asam 0.844 yang berarti dibawah dari standard PLN yaitu 0,85 (Dasar et al, 2018). Denda yang harus dibayar oleh perusahaan PT Bukit Asam kepada PLN apabila tidak menggunakan kapasitor bank sebesar Rp. 1.184.978/hari. Pada Tabel 12 penulis membandingkan total biaya perancangan kapasitor bank dengan keuntungan pemasangan kapasitor bank. Dalam waktu berapa tahun biaya perancangan kapasitor bank dapat dikembalikan dengan keuntungan pemasangan kapasitor bank tersebut. Penulis membandingkan pemakaian kapasitor bank dalam waktu 10 tahun kedepan.

**Tabel 12. Tabel keuntungan pemasangan kapasitor bank**

Tahun	Letak kapasitor bank	
	<i>Global compensation</i>	<i>Group compensation</i>
0	- Rp. 864.000.000,-	- Rp. 836.680.000,-
1	-Rp. 693.879.174,-	- Rp. 534.190.516,-
2	- Rp. 523.758.348,-	- Rp. 231.701.032,-
3	- Rp. 353.637.522,-	+ Rp. 70.788.452,-
4	- Rp. 183.516.696,-	+ Rp. 373.277.936,-
5	- Rp. 13395870,-	+ Rp. 675.767.420,-
6	+ Rp. 156724956,-	+ Rp. 978.256.904,-
7	+ Rp. 326845782,-	+ Rp. 1.280.746.388,-
8	+ Rp. 496966608,-	+ Rp. 1.583.235.872,-
9	+ Rp. 667087434,-	+ RP. 1.885.725.356,-
10	+ Rp. 837208260,-	+ RP. 2.188.214.840,-

Pada Tabel 12 dapat dilihat pada tahun ke-6 pemasangan kapasitor bank pada *global compensation* baru mendapatkan keuntungan sedangkan pemasangan kapasitor bank *group compensation* mendapatkan keuntungan pada tahun ke-3. Jadi pemasangan kapasitor bank *group compensation* keuntungannya lebih besar dibandingkan pemasangan kapasitor bank *global compensation*.

## PENUTUP

### Kesimpulan

Pada penelitian ini penulis dapat menyimpulkan bahwa pemasangan kapasitor bank *group compensation* lebih optimal dibandingkan pemasangan kapasitor bank *global compensation* pada jalur distribusi CHF 3 PT Bukit Asam. Berdasarkan 4 faktor yang menjadi pertimbangan penulis yaitu dari faktor rugi-rugi daya, profil tegangan, cos phi (faktor daya), dan dari faktor ekonomi. Pemasangan kapasitor bank *group compensation* mempunyai keunggulan dalam 3 faktor dibandingkan dengan pemasangan kapasitor bank *global compensation*. Pemasangan kapasitor bank pada *group compensation* mempunyai 3 faktor keunggulan dari 4 faktor yang menjadi pertimbangan yaitu :

1. Pemasangan kapasitor bank *group compensation* mempunyai rugi rugi daya 57 kW sedangkan pemasangan kapasitor bank *global compensation* sebesar 62.6 kW, jadi pemasangan kapasitor bank *group compensation* mempunyai rugi daya yang lebih kecil dibandingkan pemasangan kapasitor bank *global compensation*.
2. Profil tegangan pada pemasangan kapasitor bank *group compensation* lebih bagus dibandingkan dengan pemasangan kapasitor bank *global compensation*.
3. Dari faktor ekonomi biaya pemasangan kapasitor bank *group compensation* sebesar Rp.836.680.000,- sedangkan pemasangan kapasitor bank *global compensation* sebesar Rp.864.000.000,-, jadi biaya pemasangan kapasitor bank *group compensation* lebih rendah dan juga dari keuntungan penghematan daya jika dijadikan nilai ekonomi penghematannya lebih besar pemasangan kapasitor bank *group compensation* yaitu sebesar Rp. 302.489.484/tahun sedangkan pemasangan kapasitor bank *global compensation* hanyasebesar Rp. 170.120.826/tahun.

Untuk keadaan cos phi (faktor daya) pada saat pemasangan kapasitor bank *global compensation* maupun *group compensation* mempunyai faktor daya yang sama yaitu sebesar 0,961.

### Saran

Adapun saran yang dapat diberikan dari penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. Dengan adanya penilitan ini diharapkan menjadi acuan untuk melakukan penghematan biaya listrik khususnya bagi indsturi yang menggunakan kapasitas daya yang besar dalam penggunaan beban induktif sehingga dapat mengurangi rugi-rugi dari sistem tenaga listrik.
2. Diharapkan penelitian ini dapat dilanjutkan oleh peniliti lain untuk dapat menemukan metode yang lebih baik dari metode yang digunakan oleh penulis.

### DAFTAR PUSTAKA

- David dan Masykur. (2014). Optimalisasi Penggunaan Kapasitor Bank pada Jaringan 20 kV dengan Simulasi ETAP ( Studi Kasus Pada Feeder Srikandi di PLN Rayon Pangkalan Balai , Wilayah Sumatera Selatan ), (1).
- <http://listrik.org/pln/tarif-dasar-listrik-pln/>. (2018). Tarif Dasar Listrik PLN Maret, 1–405.
- Khadafi Alland, E. A. Z. (n.d.). Perancangan Kebutuhan Kapasitor Bank Untuk Perbaikan Faktor Daya Pada Linemess I Di Pt. Bumi Lamongan Sejati (Wbl).
- Syawal, R. P. (2015). Analisis Pengaruh Pemasangan Kapasitor Bank Terhadap Faktor Daya (Studi Kasus Distribusi). Fakultas Teknik. Universitas Halu Oleo.
- Windu Nur Hardiranto. (2017). Analisa Optimasi Perbaikan Faktor Daya Dan Drop Tegangan Dengan Menggunakan Kapasitor Bank Pada Line 5 Pt Bukit Asam (Persero) Tbk.
- Sylvia Handriyani, Adi Soeprijanto, S. A. (2012). Analisa perbaikan faktor daya untuk penghematan biaya listrik di kud tani mulyo lamongan, 1–6.
- Hartono, T. N. (2014). Perancangan Alat Perbaikan Faktor Daya Beban Rumah Tangga dengan Menggunakan Switching Kapasitor dan Induktor Otomatis, 1–7.
- Suryanto, A. dan S. (2011). Implementasi Model Analisis Perbaikan Faktor Daya Listrik Rumah Tangga dengan Simulasi Perangkat Lunak. *Jurnal Kompetensi Teknik Vol. 3, No. 1, November 2011*, 3(1), 47–56.
- Shaniya, P. R. (2013). Perencanaan Alat Koreksi Faktor Daya Dengan Metode Perbandingan, 1–20.