
ANALISA MANFAAT PEMASANGAN CAPACITOR BANK UNTUK MEMPERBAIKI FAKTOR DAYA DAN MENGURANGI KERUGIAN DAYA DAN ENERGI LISTRIK DI POLITEKNIK PENERBANGAN SURABAYA

Hartono¹, Heri Sudarmaji¹, Slamet H¹, Rifdian I.S¹, Siti Julaihah¹, M. Indra M²

¹Politeknik Penerbangan Surabaya Jl. Jemur Andayani I/73 Surabaya

²Politeknik Penerbangan Palembang

Email : hartono.asempapan@gmail.com

ABSTRAK

Permasalahan kualitas daya listrik meliputi rugi-rugi jaringan, penurunan tegangan pada saluran serta besarnya tenaga reaktif induktif yang dikonsumsi pada beban sehingga faktor daya rendah. Perbaikan faktor daya di Sistem Kelistrikan Polteknik Penerbangan Surabaya ((Poltekbang Surabaya) menjadi 99 % (0,99) diharapkan mampu memperbaiki kualitas daya listrik dengan memasang sekumpulan capasitor yang disebut dengan Kapasitor Bank yang mensuplai daya reaktif kapasitif. Manfaat lain yang diperoleh adalah mengurangi beban arus kabel-kabel distribusi dan mengurangi beban trafo Poltekbang Surabaya yang sekarang mendekati beban penuh (full load). Untuk dapat melaakukan perbaikan catu daya listrik tersebut perlu dilakukan pengukuran dan perhitungan daya reaktif induktif yang dapat dikompensasi dengan daya reaktif kapasitif oleh Kapasitor Bank. Setelah dilakukan perhitungan nilai Kapasitor Bank kemudian ditentukan letak pemasangan Kapasitor Bank agar dapat dilakukan perbaikan faktor daya secara efektif. Hasil penelitian memperlihatkan bahwa kompensasi yang dibutuhkan untuk memperbaiki faktor daya pada Politeknik Penerbangan Surabaya adalah 250 kVAR dibagi dalam 5 step yang masing-masing step membutuhkan Kapasitor sebesar 50 kVAR.

Kata kunci : *Kompensasi daya reaktif, Faktor daya, Kapasitor Bank*

ABSTRACT

Electric power quality problems include line losses, voltage drops and amount of inductive reactive power consumed at load so the power factor is low. Power factor improvement in Politeknik Penerbangan Surabaya electrical system to 0,99 is expected to improve the quality of electric power by installing a set of capacitor called Capacitor Banks that supply capacitive reactive power. Another benefit is that reduces the load on transformer Poltekbang Surabaya which is now approaching full load. To be able to repair the electric power supply is necessary to measure and calculate the inductive reactive power which can be compensated with capacitive reactive power by Capacitor Bank. After calculating the capacitor bank value, the location of the capacitor bank installation is then determined so that power improvements can be carried out effectively, The result show that te compensation needed to improve the power factor on Poltekbang Surabaya is 300 kVAR divided into 5 step, each steps requires a 50 kVAR capacitor

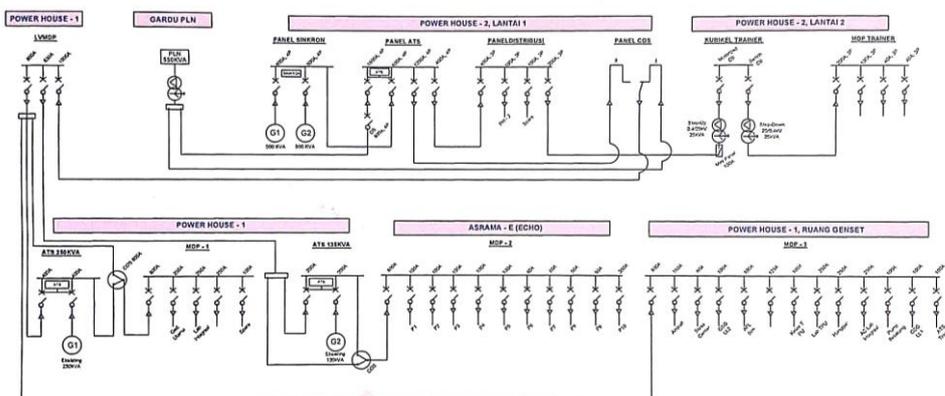
Keywords: *Reactiv Power Compensation, Power Factor, Capacitor Bank*

PENDAHULUAN

Penggunaan energi listrik di Politeknik Penerbangan Surabaya (Poltekbang Surabaya) semakin bertambah dengan pertambahan jumlah asrama yang dihuni taruna,

penambahan peralatan laboratorium, workshoop, bengkel, simulator dan peralatan praktek yang membutuhkan kondisi ruangan yang dingin yang berarti membutuhkan beban motor dari *Air Conditioner*. Trafo catu daya Poltekbang Surabaya saat ini adalah 630 kVA dengan langganan daya dari PLN sebesar 555 kVA. dan beroperasi pada hari kerja sejak jam 07.30 sampai jam 18.30, kecuali asrama taruna, poliklinik, perpustakaan, ruang makan taruna, dan lain-lain yang berhubungan dengan kegiatan taruna yang beroperasi selama 24 jam.

Permasalahan yang timbul adalah kualitas faktor daya yang menurun akibat bertambahnya beban-beban induktif yang menambah beban reaktif induktif dan menyebabkan *line losses* dan *power losses*, yang pada juga mengakibatkan tegangan catu akan menurun pada beban-beban jaringan distribusi. Peralatan-peralatn yang mengandung beban reaktif induktif adalah semua peralatan yang mempunyai belitan kawat seperi transformator, juga motor listrik dari air conditioner, motor pompa air, juga sistem penerangan di Politeknik Penerbangan Surabaya yang sebagian besar menggunakan lampu *tube lamp* yang membutuhkan ballast (induktor). Peralatan-peralatan yang bersifat induktif tersebut akan menyebabkan menurunnya faktor daya (cosinus φ) baik $\cos \varphi$ di tiap-tiap cabang maupun secara keseluruhan.



Gambar 1. Diagram Kelistrikan Poltekbang Surabaya

Daya listrik terdiri dari daya semu (kVA), Daya Reaktif (kVAR) dan daya nyata (kW). Faktor daya adalah perbandingan daya nyata (dalam kW) dibanding dengan daya semu (kVA). Jika faktor daya ($\cos \phi$) rendah maka sudut ϕ mengecil, sehingga daya reaktif induktif membesar. Jika daya reaktif induktif ini kita

kompensasi dengan daya reaktif kapasitif dari kapasitor bank, maka sudut phi mengecil dan cosinus phi membesar. Cos phi adalah faktor daya yang ditargetkan menjadi 0,99 setelah dipasang kapasitor bank. Faktor daya ini sangat mempengaruhi besarnya daya nyata.

Perhatikan rumus-rumus berikut ini (BL Theraja, A Text Book of Electrical Technology). Daya semu (apparent power) dalam kVA dengan simbol S :

$$S = \sqrt{3} \cdot V_{line} \times I_{line} \quad (1)$$

$$S = 3 \times V_{phase} \times I_{phase} \quad (2)$$

Sedang rumus daya nyata (active power) dalam kW dengan simbol P

$$P = \sqrt{3} \times V_{line} \times I_{line} \times \cos \varphi \quad (3)$$

$$P = 3 \times V_{phase} \times I_{phase} \times \cos \varphi \quad (4)$$

Daya Reaktif (reactive power) dalam kVAR dengan simbol Q

$$Q = \sqrt{S^2 - P^2} \quad (5)$$

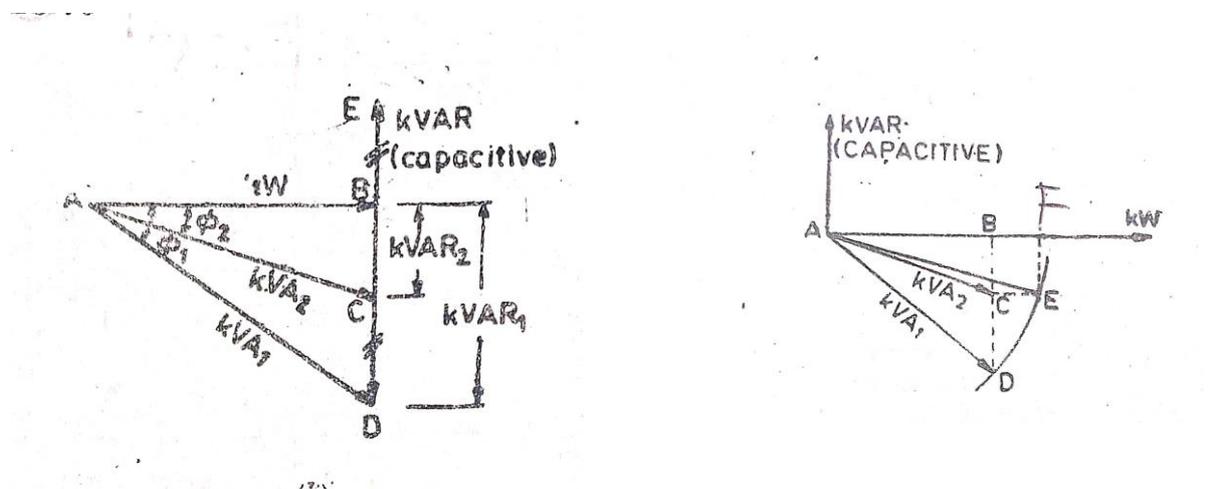
$$Q = S \times \sin \varphi \quad (6)$$

Faktor Daya ($\cos \varphi$) dapat dicari dengan rumus sesuai segitiga daya

$$\cos \varphi = P / S = \text{kW/kVA} \quad (7)$$

Kapasitas Kapasitor Bank dapat dihitung dengan rumus (Rectiphse, Merlin Gerlin, France

$$Q_c = P (\tan \varphi_1 - \tan \varphi_2) \quad (8)$$



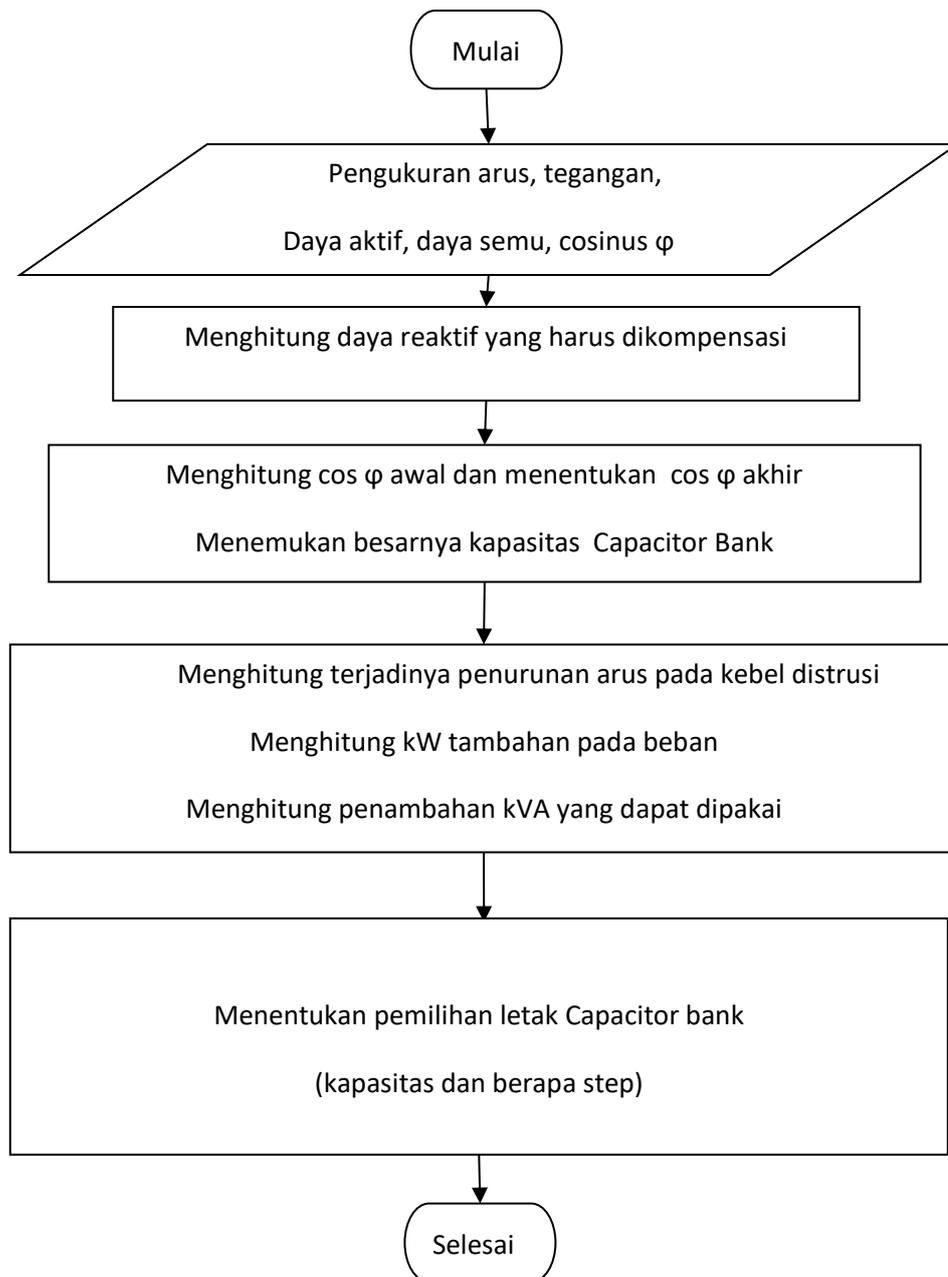
Gambar 2. a) Pengurangan kebutuhan daya semu (kVA); b) Penambahan pemakaian daya nyata (kW)

METODOLOGI

Penelitian yang dilakukan oleh Putri Dwi Lestari (2020) membahas mengenai “Analisa Perhitungan Nilai Kapasitor Bank unuk Perbaikan Faktor Daya pada P.T. Toha Putra Semarang”, penelitian tersebut bertujuan untuk menentukan nilai faktor daya selama terjadi penurunan dan mementukan nilai kompensasi secara variabel sehingga ditemukan 50 kVAR dengan dibagi menjadi 5 step (trafo catu daya 400 kVA, pemakaian daya 345 kVA).

Penelitian yang dilakukan oleh Muhammad Fahmi Hakim (2014) membahas tentang :”Analisis Kebutuhan Capasitor Bank beseta implementasinya untuk memeperbaiki faktor daya listrik di Politeknik Kota Malang membahas tentang perbaikan kualitas daya listrik ntuk perbaikan faktor daya menjadi 0,96 dan menurunkan daya reaktif menjadi 4,6 kVAR..

Penelitian di Politeknik Penerbangan Surabaya yang membahas manfaat Pemasangan Capacitor Bank di Politeknik Penerbangan Surabaya dilakukan selama 5 hari dari tanggal 17 Mei 2022 sampai 21 Mei 2022 dimana pengukuran dilakukan saat jam kera dan jam taruna di kampus/asrama dilakukan dari jam 08,00 s/d 16.00. Berikut Diagram Alir Penelitian.



Gambar 3. Diagram Alir Penelitian

PEMBAHASAN

Pengukuran besaran listrik telah dilakukan di Panel MDP Politeknik Penerbangan Surabaya selama 5 hari dari tanggal 17 Mei 2022 s.d 21 Mei 2022 mulai pukul 08.00 – 16.00. Pengukuran besaran listrik meliputi Tegangan, Arus, Daya Aktif dalam kW, Daya Semu dalam kVA, dan cosinus phi (faktor daya). Dengan mengetahui data-data tersebut penulis bisa menghitung dan menentukan berapa kVAR yang dibutuhkan untuk kompensasi faktor daya sesuai yang diinginkan.

Data pada Main Distribution Panel (MDP) Poltekbang Surabaya

Tabel 1. Hasil Pengukuran Arus, Tegangan 3 phase, Daya Aktif 3 phase, Daya Semu 3 phase, $\cos \phi$ pada hari pertama

Waktu	ARUS (A)			Tegangan phase (Volt)	Daya Aktif (kW) 3 phase	Daya Semu (kVA) 3 phase	Cos ϕ
	R	S	T				
08.00	756	750	760	224	406.067	507.584	0.80
09.00	770	769	777	224	420.215	518.784	0.81
10.00	780	779	785	225	427.194	527.400	0.81
11.00	792	790	798	223	419.284	530.740	0.79
12.00	808	799	800	221	430.877	531.947	0.81
13.00	805	800	802	222	438.170	534.354	0.82
14.00	807	799	800	223	450.691	536.538	0.84
15.00	805	804	801	224	453.465	539.840	0.84
16.00	801	800	805	222	454.012	534.132	0.85

Tabel 2. Hasil Pengukuran Arus, Tegangan 3 phase, Daya Aktif 3 phase, Daya Semu 3 phase, $\cos \phi$ pada hari kedua

Waktu	ARUS (A)			Tegangan (Volt)	Daya Aktif (kW) 3 phase	Daya Semu (kVA) 3 phase	Cos ϕ
	R	S	T				
08.00	756	750	755	225	406.980	508.725	0.80
09.00	762	759	769	225	407.047	515.250	0.79
10.00	773	770	779	224	421.303	520.128	0.81
11.00	781	780	788	223	419.061	523.827	0.80
12.00	792	790	797	222	438.354	528.138	0.83
13.00	800	811	802	223	452.003	538.099	0.84
14.00	807	809	800	224	460.006	541.184	0.85
15.00	805	804	801	222	449.416	535.020	0.84
16.00	801	800	805	222	448.670	534.132	0.84

Tabel 3. Hasil Pengukuran Arus, Tegangan 3 phase, Daya Aktif 3 phase, Daya Semu 3 phase, $\cos \phi$ pada hari ketiga

Waktu	ARUS (A)			Tegangan (Volt)	Daya Aktif (kW) 3 phase)	Daya Semu (kVA) 3 phase	Cos ϕ
	R	S	T				
08.00	750	749	759	225	401.359	508.050	0.79
09.00	761	760	768	224	410.188	512.736	0.80
10.00	773	769	778	224	415.744	519.680	0.80
11.00	782	780	787	223	429.538	523.827	0.82
12.00	795	789	795	224	442.303	532.896	0.83
13.00	800	811	802	225	456.057	542.925	0.84
14.00	807	809	800	224	460.006	541.184	0.85
15.00	805	804	801	223	451.441	537.430	0.84
16.00	801	800	805	222	448.670	534.132	0.84

Tabel 4. Hasil Pengukuran Arus, Tegangan 3 phase, Daya Aktif 3 phase, Daya Semu 3 phase, $\cos \phi$ pada hari keempat

Waktu	ARUS (A)			Tegangan (Volt)	Daya Aktif (kW) 3 phase)	Daya Semu (kVA) 3 phase	Cos ϕ
	R	S	T				
08.00	749	748	750	225	399.404	505.575	0.79
09.00	762	760	763	224	419.798	511.840	0.82
10.00	775	770	775	224	431.334	519.680	0.83
11.00	780	779	780	223	417.277	521.597	0.80
12.00	795	789	790	224	436.056	531.776	0.82
13.00	800	799	802	222	426.417	533.022	0.80
14.00	807	800	805	221	431.772	533,052	0.81
15.00	805	800	801	221	436.015	531.726	0,82
16.00	8 01	800	805	222	432.646	534.132	0.81

Tabel 5. Hasil Pengukuran Arus, Tegangan 3 phase, Daya Aktif 3 phase, Daya Semu 3 phase, $\cos \phi$ pada hari kelima

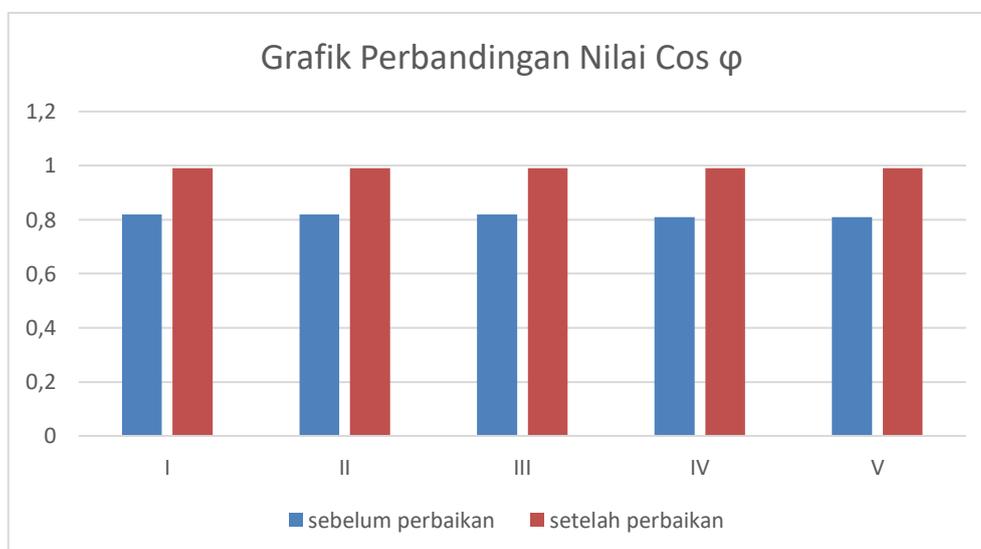
Waktu	ARUS (A)			Tegangan line (Volt)	Daya Aktif (kW) 3 phase)	Daya Semu (kVA) 3 phase	Cos ϕ
	R	S	T				

08.00	755	750	755	225	406.800	508.500	0.80
09.00	765	760	768	224	416.041	513.632	0.81
10.00	777	772	776	225	428.962	523.125	0.82
11.00	781	780	782	222	431.721	520.146	0.83
12.00	794	790	795	221	420.607	525.759	0.80
13.00	800	811	802	223	435.860	538.099	0.81
14.00	807	809	800	221	427.148	533.936	0.80
15.00	805	804	801	222	438.864	535,200	0.82
16.00	801	800	805	223	429.230	536.538	0.80

Tabel 6. Nilai rata-rata Arus , Tegangan phase, Daya Aktif , Daya Semu, $\cos\phi$

Waktu	ARUS (A)			Tegangan phase (Volt)	Daya Aktif (kW) 3 phase)	Daya Semu (kVA) 3 phase	Cos ϕ
	R	S	T				
Hari I	791	788	792	223	434.886	529.035	0.82
Hari II	786	786	788	223	433.649	527.167	0.82
Hari III	786	786	788	224	435.034	528.096	0.82
Hari IV	786	783	786	223	425.635	524.707	0.81
Hari V	787	786	787	223	426.147	526.104	0.81

Dari Tabel 6. Dapat dibuat $\cos\phi_1$ rata-rata dan $\cos\phi_2$ selama 5 hari dalam bentuk grafik sebagai berikut



Gambar 3. Grafik Perbandingan Nilai Cos ϕ

Menentukan kapasitas Kapasitor Bank

Untuk menghitung berapa nilai kVAR Capasitor Bank yang harus dikompensasi untuk mencapai target faktor daya ($\cos \varphi$) = 0,99 dapat dihitung dengan Persamaan (8) sebagai berikut :

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

Jika $\cos \varphi_1 = 0,82$ maka sudut $\varphi_1 = 34,9152^\circ$ dan $\tan \varphi_1 = 0,698$

Jika $\cos \varphi_1 = 0,81$ maka sudut $\varphi_1 = 35,904^\circ$ dan $\tan \varphi_1 = 0,7239$

Jika $\cos \varphi_2 = 0,99$ maka sudut $\varphi_2 = 8,1096^\circ$ dan $\tan \varphi_2 = 0,1424$

I. $Q_c = 434.886 (0,698 - 0,1424) = 241.622 \text{ kVAR}$

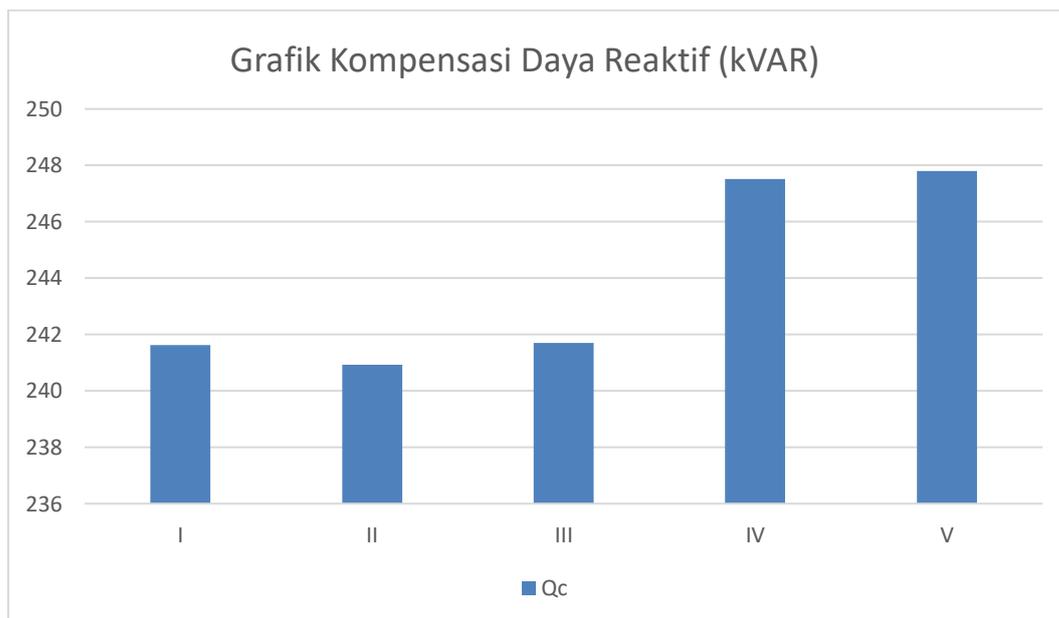
II. $Q_c = 433.649 (0,698 - 0,1424) = 240.935 \text{ kVAR}$

III. $Q_c = 435.034 (0,698 - 0,1424) = 241.704 \text{ kVAR}$

IV. $Q_c = 425.635 (0,7239 - 0,1424) = 247.506 \text{ kVAR}$

V. $Q_c = 426.147 (0,7239 - 0,1424) = 247.804 \text{ kVAR}$

Variasi kebutuhan Q_c dapat dibuat grafik sebagai berikut



Gambar 4. Grafik Kompensasi Daya Reaktif oleh Kapasitor Bank

Dari berbagai variasi kebutuhna Q_c maka Q_c tertinggi adalah 247, 804 kVAR dan dapat dibulatkan menjadi 250 kVAR

Perhitungan penurunan arus pada kabel sehubungan pemasangan Qc

$P = \sqrt{3} \cdot V_{\text{line}} \times I_{\text{line}} \times \cos \varphi$ (pers. 3) dimana dalam hal ini $I_{\text{line}} = I_{\text{phase}}$ (beban dalam hubungan Star 4 kawat), untuk itu kita ambil nilai rata-rata tabel 6 sebagai berikut

Tegangan phase rata-rata (V_{ph}) = 223,2.Volt

Tegangan line rata-rata (V_L)= $\sqrt{3} \times$ tegangan phase = $\sqrt{3} \times 223,2 = 386,13$ Volt

Daya Aktif 3 phase rata-rata (P) = 431,070 kW

Daya semu 3 phase rata-rata (S) = 527,022.kVA

Daya reaktif (kVAR) = $\sqrt{S^2 - P^2} = 303,200$ kVAR

Besarnya arus beban seimbang dapat dihitung dengan Persamaan (3)

$$P = \sqrt{3} \cdot V_{\text{line}} \times I_{\text{line}} \times \cos \varphi$$

$$431.070 = 1,73 \times 386,13 \times I_{\text{line}} \times 0,817$$

$I_{\text{line}} = 790$ Ampere pada masing-masing jalur kabel R, S, T

$$\cos \varphi \text{ awal rata-rata} = P/S = 431.070/527.022 = 0,817$$

Dengan pemasangan Qc dengan target $\cos \varphi = 0,99$ maka dengan pers. (3)

$$P = \sqrt{3} \cdot V_{\text{line}} \times I_{\text{line}} \times \cos \varphi$$

$$431.070 = 1,73 \times 386,13 \times I_{\text{line}} \times 0,99$$

I_{line} akan turun menjadi 652 Ampere pada masing-masing jalur kabel R, S, Terjadi penurunan arus pada kabel R, S, T sebesar $790 - 652 = 138$ Ampere

Penurunan kebutuhan kVA pada trafo daya atau Penambahan kW sehubungan dengan Pemasangan Qc

Jika kita memasang beban kW yang tetap sebesar 431.070 kW sedang $\cos \varphi$ pada posisi 0,99 maka akan terdapat kVA sebesar (lihat Gambar 2.a)

$S = P / \cos \varphi = 431.070 / 0,99 = 435.424$ kVA artinya jika kita bandingkan dengan kVA awal sebesar 527.022 kVA maka telah dapat dilakukan penghematan kVA sebesar $527.022 \text{ kVA} - 435.424 \text{ kVA} = 91,59 \text{ kVA}$ (artinya

beban kVA trafo mengecil, sehingga trafo tidak terlalu panas).

Tetapi seandainya kita memakai kVA yang tetap sebesar 527.022 kVA, maka kita dapat menambah beban listrik (pemasangan alat-alat listrik baru) sebesar (lihat Gambar 2.b)

$$P = kVA \times \cos \phi$$

$P = 527.022 \times 0,99 = 521,751 \text{ kW}$, artinya dengan pemasangan Q_c kita dapat memasang peralatan listrik sebesar 521.751 kW dibanding dengan kW semula sebesar 431.070 kW (artinya kita dapat menambah pemasangan alat listrik baru sebesar 521,751 kW – 431,070 kW = **90, 681 kW**)

PENUTUP

Kesimpulan

1. Faktor daya ($\cos \phi$) sistem kelistrikan Poltekbang Surabaya rata-rata adalah 0, 817 yaitu masih dibawah 0,85 dan perlu perbaikan faktor daya dengan Kapasitor Bank sebesar $Q_c = 250 \text{ kVAR}$ yang dapat dipasang di Panel Utama Power House (Main Distribution Panel)
2. Dengan target $\cos \phi$ 0,99 maka akan dapat dilakukan penurunan arus pada masing-masing kabel R, S, T sebesar 138 Ampere
3. Jika peralatan listrik yang terpasang tetap $P = 431,070 \text{ kW}$ dengan pemasangan Kapasitor Bank, akan menghemat input kVA (daya semu) dari trafo daya sebesar 91, 59 kVA
4. Jika tetap menggunakan daya semu (kVA) tetap dari taro daya sebesar $S = 527.022 \text{ kVA}$, maka dengan pemasangan Kapasitor Bank akan dapat dilakukan penambahan beban (pemasangan peralatan listrik baru) sebesar $P = 90, 681 \text{ kW}$
5. Kapasitor Bank yang disarankan berkapasitas $Q_c = 250 \text{ kVAR}$ lengkap dengan Circutor dengan 5 step dimana masing-masing step adalah 50 kVAR dan Kapasitor Bank tersebut dapat dipasang di Panel Utama di Power House (Main Distribution Panel)

DAFTAR PUSTAKA

- B. L. Theraja, A.K. Theraja.(1995) '*A. Tex Book of Electrical Technology*', Nirja Construction and Development cO (P) LTD, New Delhi
- Harten, P.,van, Setiawan.E, Ir.(1991) "*Instalasi Listrik Arus Kuat*" 1, 3, Bina Cipta, Jakarta
- Lister, Eugene, C.(1984) "*Electrical Circuits and Machines*",Sixth Edition, McGraw-Hill Inc
- Merlin Gerin.(1993). "*Capacitor Bank, Recthiphase, Varplus HQ*", Aplication Guide, France
- M.F. Hakim. (2014)"*Analisis Kebutuhan Capacitor Bank Beserta Implementasinya Untuk Memperbaiki Faktor Daya Lissstrik Di Politeknik Kota Malang*" Jurnal ELTEK, Vol 12, No. 1
- Putri Dwi Lestari.(2020) "*Analisa Perhitungan Nilai Kapasitor Bank untuk Perbaikan Faktor Daya pada P.T. Karya Toha Putra*", Jurnal ElektriKA, ol. 12 N0. 1