



Analisis pemasangan Kapasitor Bank untuk Meningkatkan Nilai Faktor Daya pada Sistem Kelistrikan di Rumah Pompa PA. Jemur Sari Prapen Kota Surabaya

Reza Sarwo Widagdo¹, Puji Slamet¹, Teguh Bayu Saputra^{2,*}

¹Teknik, Teknik Elektro, universitas 17 Agustus, Surabaya, Indonesia
Email: ¹rezaswidagdo@untag-sby.ac.id, ^{2,*}teguhbayusaputra94@gmail.com

INFORMASI ARTIKEL

Histori Artikel:

Tanggal Submit : 00 Bulan 0000
Tanggal di Terima : 00 Bulan 0000
Tanggal Publish : 00 Bulan 0000

KORESPONDENSI

Email: teguhbayusaputra94@gmail.com

A B S T R A K

Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis dan mengevaluasi perbaikan faktor daya ($\cos \phi$) pada instalasi listrik rumah pompa P.A Prapen Kota Surabaya guna mengurangi biaya denda akibat kelebihan pemakaian daya reaktif (kVARh) yang dikenakan oleh PLN. Berdasarkan data awal, rumah pompa memiliki faktor daya sebesar 0,70 dengan daya aktif sebesar 707,95 kW, yang menyebabkan konsumsi daya reaktif yang tinggi dan mengakibatkan denda rata-rata hingga Rp 31 juta per bulan. Dengan menggunakan perangkat lunak ETAP 19.0.1, dilakukan simulasi penambahan kapasitor bank untuk meningkatkan faktor daya menjadi 0,95. Hasil perhitungan menunjukkan bahwa kebutuhan kompensasi daya reaktif sebesar 488,485 kVAR, dengan total kapasitansi sekitar 9507,8 μ F.

Kata Kunci: Faktor Daya, Kapasitor Bank, Daya Reaktif, Denda PLN, ETAP, Efisiensi Energi, Rumah Pompa

A B S T R A C T

This study aims to analyze and evaluate power factor ($\cos \phi$) correction in the electrical installation of the P.A Prapen Pump House in Surabaya City to reduce penalty costs due to excess reactive power (kVARh) consumption imposed by PLN (State Electricity Company). Based on initial data, the pump house had a power factor of 0.70 with an active power of 707.95 kW, resulting in high reactive power consumption and average penalty charges reaching up to IDR 31 million per month. Using ETAP 19.0.1 software, a simulation was conducted to determine the impact of capacitor bank installation to improve the power factor to 0.95. The results of the calculation showed that the required reactive power compensation was 488.485 kVAR, with a total capacitance of approximately 3169.2 μ F.

Keywords: Power Factor, Capacitor Bank, Reactive Power, PLN Penalty, ETAP, Energy Efficiency, Pump House.

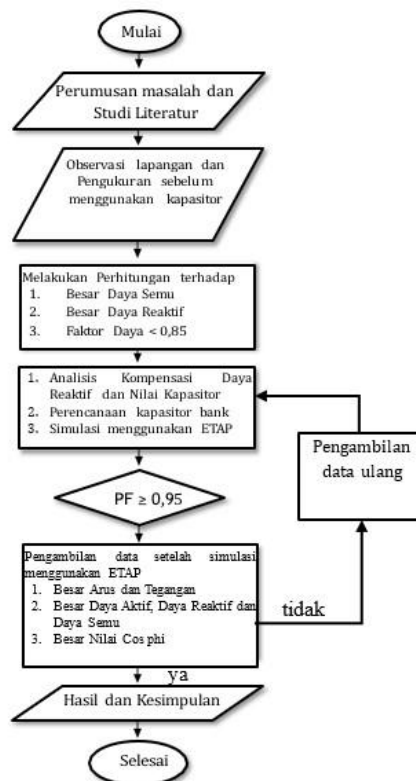
1. PENDAHULUAN

Rumah pompa merupakan infrastruktur penting dalam sistem pengendali banjir saat musim hujan, terutama di kota besar seperti Kota Surabaya. Keandalan operasional rumah pompa sangat bergantung pada kualitas dan efisiensi sistem kelistrikan. Salah satu permasalahan utama yang sering terjadi adalah rendahnya nilai faktor daya ($\cos \phi$) akibat beban induktif pada pompa air, yang menyebabkan peningkatan konsumsi daya reaktif, membebani sistem distribusi listrik, menurunkan efisiensi, serta memicu denda kVARh dari PLN.[1] Rumah Pompa Jemursari Prapen di Kota Surabaya mengalami kondisi yang sama, dengan nilai faktor daya rata-rata di bawah standar, sehingga menimbulkan pemborosan energi dan biaya operasional. Berbagai penelitian sebelumnya telah menunjukkan efektivitas pemasangan kapasitor bank sebagai solusi peningkatan faktor daya. Studi di Wisma Nusantara Internasional mencatat peningkatan $\cos \phi$ dari 0,75 menjadi 0,95 setelah pemasangan kapasitor bank[2]. Begitu pula di PT. Permata Hijau Palm Oleo dan PT. Sunrise Steel, peningkatan efisiensi dan pengurangan rugi daya dicapai melalui kompensasi daya reaktif dengan kapasitor bank dan simulasi menggunakan perangkat lunak ETAP[3]. Dengan mengacu pada keberhasilan studi-studi tersebut, penelitian ini bertujuan untuk menganalisis kondisi faktor daya di Rumah Pompa Jemursari Prapen, merancang sistem kompensasi reaktif yang optimal, serta mengevaluasi manfaat teknis dan ekonomis dari penerapan kapasitor bank.[4]

2. METODOLOGI PENELITIAN

Penelitian ini dilakukan untuk menganalisis besaran nilai faktor daya yang ada di rumah pompa Jemursari Prapen kota Surabaya. Untuk meningkatkan nilai faktor daya dan meningkatkan efisiensi sistem kelistrikan pada rumah pompa. Penelitian ini bertujuan untuk lebih memahami bagaimana kapasitor bank dapat berpengaruh terhadap nilai faktor daya pada sistem kelistrikan yang ada di rumah pompa.

2.1 Diagram alir



Gambar 2. 1 Diagram alir penelitian

Perumusan masalah mencari permasalahan yang terjadi di lapangan sebelum menentukan judul proposal dan mencari literatur yang sesuai dengan judul yang akan digunakan dalam penulisan tugas akhir. Observasi lapangan menentukan Lokasi yang akan digunakan untuk penelitian dan analisis perbaikan power factor serta melakukan pengukuran tegangan, arus, dan nilai $\cos\phi$ di Lokasi yang sudah ditentukan lakukan perhitungan besar daya semu daya reaktif dan factor daya sesuai dengan rumus yang didapatkan melalui studi literatur kemudian mulai dengan proses analisis daya reaktif dan nilai kapasitor, perencanaan dan simulasi menggunakan etap. Menentukan nilai power factor 0,95. Setelah itu melakukan pengambilan data yang disimulasikan melalui etap. Menemukan hasil dan Kesimpulan untuk Menyusun tugas akhir, Selesai.

2.2 Sumber Data

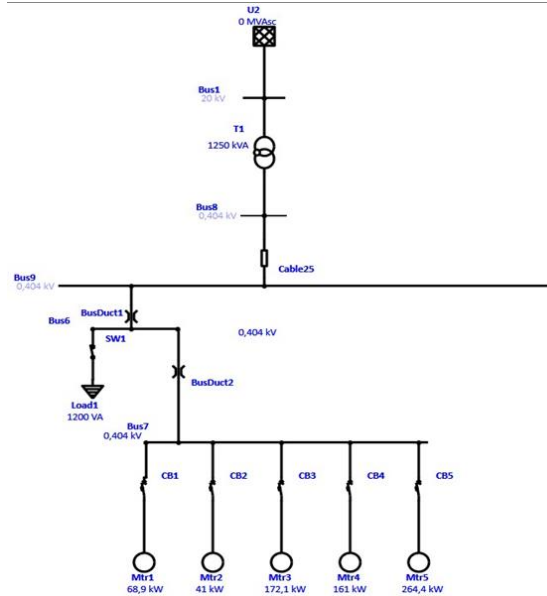
Data awal dari penelitian ini diperoleh dari dua sumber utama, yaitu sumber yang tercatat pada dokumen E-Maintenance/aplikasi teknisi rumah pompa, guna memvalidasi dan memperkuat data tersebut dilakukan wawancara dengan petugas/operator rumah pompa serta melakukan pengukuran secara langsung menggunakan *clamp meter hioki 3286-01*. [5] Berikut data awal yang digunakan untuk penelitian ini.

Tabel 2.1 Data Sumber Tegangan Listrik

No	Keterangan	Genset	Transformator
1	Merk	Perkins	Trafindo
2	Daya (kW/kVa)	520kW/650kVa	1000 kW/1250 kVa
3	Tegangan (V)	230/400	230/400
4	Arus (A)	983,194	1804 A

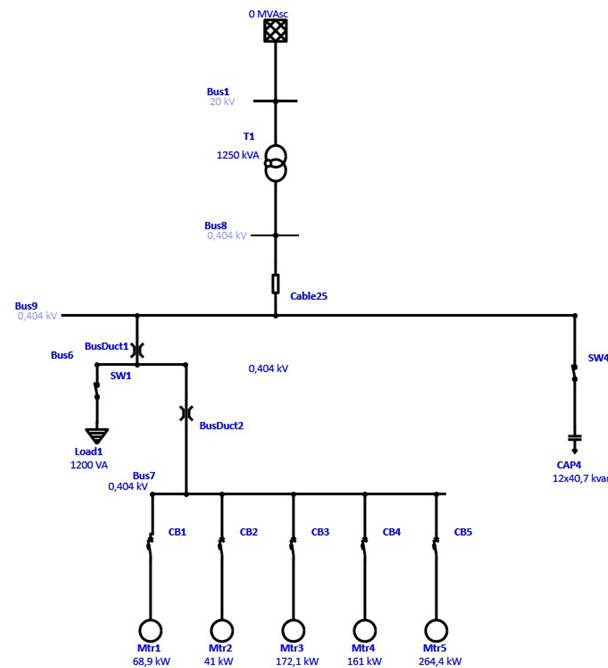
2.3 Pemodelan Single Line Diagram (SLD)

A. Pemodelan single line diagram sebelum pemasangan kapasitor bank



Gambar 2.2 Single line diagram sebelum pemasangan

B. Pemodelan single line diagram sebelum pemasangan kapasitor bank



Gambar 2.3 Single line diagram setelah pemasangan

2.4 Pengukuran beban pada rumah pompa

Melakukan pengukuran beban pada setiap pompa untuk mengetahui nilai tegangan , arus ,serta nilai cosphi atau faktor daya.ketika pompa di oprasikan.dan mencatat hasil pengukuran pada tabel di bawah ini.

Tabel 2.2 Pengukuran beban pompa

NO	Beban	Tegangan (V)	Arus (A)	Daya (kW)	PF Cosφ
1	P .Sludge 1	408,8	109,3	68,9	0,89
2	P. Sludge 2	398,2	74,4	41,5	0,80
3	P. Banjir 1	405,8	265	172,1	0,92
4	P.Banjir 2	405,7	301,7	161	0,75
5	P.Banjir 3	402,5	389,1	264,4	0,97
6	L.Rumah tangga	220	2,55	0,450	0,80
Total				707,95	

Berdasarkan Tabel 3.6, pengukuran beban pompa pada instalasi rumah pompa P.A Prapen menunjukkan total daya aktif sebesar 707,95 kW yang berasal dari enam beban utama, yaitu lima unit pompa dan satu beban rumah tangga. Pompa sludge 1 bekerja pada tegangan 408,8 V dengan arus 109,3 A dan menghasilkan daya aktif sebesar 68,9 kW dengan faktor daya (cos φ) cukup baik sebesar 0,89. Sementara itu, pompa sludge 2 memiliki daya lebih rendah, yaitu 41,5 kW pada tegangan 398,2 V dan arus 74,4 A, dengan faktor daya 0,80. Dua pompa banjir utama yaitu P. Banjir 1 dan P. Banjir 2 menghasilkan daya masing-masing sebesar 172,1 kW dan 161 kW. Meski P. Banjir 1 memiliki faktor daya yang tinggi sebesar 0,92, P. Banjir 2 menunjukkan efisiensi yang lebih rendah dengan cos φ hanya 0,75, yang mengindikasikan kebutuhan koreksi daya reaktif lebih besar. Pompa banjir 3 merupakan beban terbesar dengan daya aktif 264,4 kW, arus 389,1 A, dan faktor daya sangat baik sebesar 0,97, menunjukkan kinerja yang efisien. Terakhir, beban rumah tangga meskipun kecil, yaitu hanya 0,45 kW, juga memiliki faktor daya sebesar 0,80. Pada pengukuran pada pompa sludge no 1 dan 2 diambil saat kedua pompa beroperasi sedangkan pada pompa banjir 1,2,3 dilakukan bergantian di karna pada saat pengukuran elevasi atau debit air dibawah 1 meter.

2.5 Metode perbaikan faktor daya menggunakan rumus kVAR

Perbaikan faktor daya dengan menggunakan rumus kVAR. Hasil perhitungan dengan menggunakan persamaan untuk mengetahui besarnya nilai faktor daya (Cosφ) dan daya reaktif (kVar) pada setiap beban sebelum simulasi atau pemasangan kapasitor bank.[6]

- Diketahui:

$$P = (\text{total beban}) \text{ kW}$$

$$V = (\text{tegangan}) \text{ V}$$

$$I = (\text{arus total}) \text{ A}$$

- Menghitung daya semu sebelum perbaikan faktor daya:

$$S_1 = V_{L-L} \cdot I \cdot \sqrt{3} \tag{1}$$

- Menghitung daya reaktif (Q1) sebelum perbaikan faktor daya :

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

- Menghitung nilai $\cos\phi_1$ atau sebelum perbaikan faktor daya :

$$\cos\phi_1 = \frac{P(\text{kW})}{S_1} \tag{3}$$

- Menghitung nilai $\cos\phi_1$ 0,70 sebelum perbaikan faktor daya :

$$\cos\phi_1 = 0,70$$

$$\phi_1 = 0,70$$

$$\phi_1 = \text{Cos}^{-1} 0,70$$

$$\varphi_1 = 45,57^\circ$$

- Menghitung kompensasi daya Reaktif untuk mencapai $\cos\varphi_2$ (0,95)

$$\cos\varphi_2 = 0,95$$

$$\varphi_2 = \cos^{-1}0,95$$

$$\varphi_2 = 18,19^\circ$$

Maka:

$$QC = P(\tan\varphi_1 - \tan\varphi_2) \quad (4)$$

- Menghitung kapasitas kapasitor:

$$C = \frac{QC}{2 \cdot \pi \cdot f \cdot V^2} \quad (5)$$

Berdasarkan perhitungan diatas dapat diketahui untuk Besar Daya Semu (S1)kVA, Daya Reaktif (Q1) kVAR, $\cos\varphi_1$ 0,70 dan besar kompensasi daya reaktif yang dibutuhkan untuk mencapai $\cos\varphi_2$ 0,95. Menentukan jumlah step kapasitor bank kita sesuaikan dengan modul control kapasitor bank yang rata-rata menggunakan 12 step jadi,

$$\text{nilai kapasitor bank} = \frac{QC}{12 \text{ step}}$$

maka diperoleh nilai kapasitas kapasitor bank yang akan di gunakan pada simulasi.[7]

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1 Analisis faktor daya awal

Analisis faktor daya awal kita dapat beberapa data yang dapat menjadi acuan bahwa nilai cosphi atau faktor daya pada rumah pompa P.A Prapen tahun 2024 sangat Rendah. Sehingga muncul tagihan kVARH dapat di lihat pada tabel 4.1.

Tabel 3.1 Tagihan kvarh bulan mei dan September 2024

Untuk data terbaru di dapat melalui pengukuran secara langsung pada tiap - tiap beban pompa hasil dari pengukuran terdapat pada tabel 3.6 dimana total daya nyata sebesar 707,95 kW Dimana semua pompa beroperasi. Dan rata-rata nilai Cosphi /factor daya 0,84.

Sedangkan pada perhitungan kita asumsikan bahwa nilai faktor daya turun menjadi 0,70 dan di perbaiki mencapai

NAMA PELANGGAN	Daya	Tagihan KVARh Mei		Tagihan KVARh September	
RUMAH POMPA DU PAK BANDARE	P2 / 865,000 VA	19.516	29.720.526,080	-	-
RUMAH POMPA KENARI	P2 / 865,000 VA	22.218	33.835.347,840	24.408	37.170.455,040
RUMAH POMPA PESAPEN	P2 / 690,000 VA	12.712	19.358.850,560	-	-
RUMAH POMPA BOSEM MOROKRE	P2 / 1,730,000 VA	-	-	-	-
RUMAH POMPA KAUSARI	P2 / 1,385,000 VA	-	-	-	-
RUMAH POMPA TAMBAKWEDI	P2 / 1,730,000 VA	-	-	62.717	95.510.464,960
RUMAH POMPA IKAN MUNGSING	P2 / 865,000 VA	4.781	7.280.889,280	17.816	27.131.630,080
Rumah Pompa Semolowaru II	P2 / 345,000 VA	17.667	26.904.720,960	-	-
Proyek Urban 5 Sby (IPLT)	I2 / 105,000 VA	-	-	-	-
PINTU AIR WONOKROMO (PA. Jagir)	P2 / 865,000 VA	-	-	-	-
RUMAH POMPA (Medokan Semampir	P2 / 690,000 VA	1.335	2.033.045	-	-
RUMAH POMPA KAUDAMI	P2 / 1,110,000 VA	12.594	19.179.150,720	-	-
RUMAH POMPA KAUDAMI	P2 / 1,385,000 VA	5.174	7.879.381,120	-	-
JL JEMURSARI PRAPEN	P2 / 1,110,000 VA	32.782	49.923.052,160	22.337	34.016.570,560

nilai 0,95. Untuk memperoleh nilai kVAR (QC) dan nilai kapasitansi (C) setelah kompensasi. Menentukan jumlah step kapasitor bank yang akan di rencanakan. Kemudian di simulasikan menggunakan aplikasi ETAP 19.0.1 untuk mengetahui pengaruh perbaikan nilai faktor daya.

3.2 Pehitungan Perbaikan faktor daya menggunakan rumus daya reaktif (kVAr)

Dari hasil data pengukuran pada tabel 3.6 kita dapat menghitung menggunakan rumus kVAr. Dan nilai faktor daya awal di asumsikan 0,70 hal ini di karna kan unutkan mensimulasikan pada ETAP 19.0.1 nilai faktordaya atau cosphi pada setiap beban harus dibawah standart atau 0,85. pada perhitungan nilai faktordaya akan di perbaiki hingga 0,95. Selanjutnya menentukan berapa step kapasitor yang direncanakan dan disimulasikan menggunakan aplikasi ETAP.

Diketahui:

$$P_{total} = 707,95 \text{ kW} = 707.950 \text{ W} \text{ (Daya total dari data pengukuran)}$$

$$V_{rata - rata} = 404,5 \text{ V}$$

$$\cos\varphi_{awal} = 0,70 \text{ (nilai diasumsikan ketika semua pompa beroperasi bersama)}$$

$$f = 50 \text{ hz}$$

$I = 1443,53 \text{ A}$ (arus awal jika menggunakan $\cos\phi$ 0,70)

- Menghitung daya semu sebelum perbaikan faktor daya:

$$\begin{aligned} S_1 &= V_{L-L} \cdot I \cdot \sqrt{3} \\ &= 404,5 \times 1443,53 \times 1,73 \\ &= 583.907 \times 1,73 \\ &= 1.010.159 \text{ VA} \end{aligned}$$

$$S_1 = 1010,15 \text{ kVA}$$

- Menghitung daya reaktif (Q1) sebelum perbaikan faktor daya :

$$\begin{aligned} Q_1 &= \sqrt{(S_1)^2 - P^2} \\ &= \sqrt{(1010,15)^2 - 707,95^2} \\ &= \sqrt{518.906} \\ &= 720,35 \text{ kVAR} \end{aligned}$$

- Menghitung nilai $\cos\phi_1$ 0,70 sebelum perbaikan faktor daya :

$$\cos\phi_1 = 0,70$$

$$\phi_1 = 0,70$$

$$\phi_1 = \cos^{-1} 0,70$$

$$\phi_1 = 45,57^\circ$$

- Menghitung kompensasi daya Reaktif untuk mencapai $\cos\phi_2$ (0,95)

$$\cos\phi_2 = 0,95$$

$$\phi_2 = \cos^{-1} 0,95$$

$$\phi_2 = 18,19^\circ$$

Maka:

$$\begin{aligned} QC &= P(\tan\phi_1 - \tan\phi_2) \\ &= 707,95(\tan 45,57 - \tan 18,19) \\ &= 707,95(1,02 - 0,33) \\ &= 707,95(0,69) \end{aligned}$$

$$QC = 488,485 \text{ kVAR}$$

- Menghitung kapasitas kapasitor:

$$QC = 488,485 \text{ kVAR} = 488485 \text{ VAR}$$

$$\begin{aligned} C &= \frac{QC}{2 \cdot \pi \cdot f \cdot V^2} \\ &= \frac{488.485}{2 \times 3,14 \times 50 \times (404,5)^2} \\ &= \frac{488485}{51.376.758,5} \\ &= 0,0095078 \text{ F} \\ &= 9507,8 \mu\text{F} \end{aligned}$$

Perbaikan nilai faktor daya atau QC dari 0,70 menjadi 0,95 ialah 488,485 kVAR. dan besar nilai total kapasitansi nya 9507,8 μF

$$QC = 488,485 \text{ kVAR} : 12 (\text{jumlah step}) = 40,7 \text{ kVAR}$$

Sehingga didapatkan nilai perstep kapasitor bank yang akan digunakan adalah 40,7 kVAR atau 40 kVAR disesuaikan pada umumnya yang dijual di pasaran.[8]

3.3 Analisa Pemasangan Kapasitor bank menggunakan ETAP 19.0.1

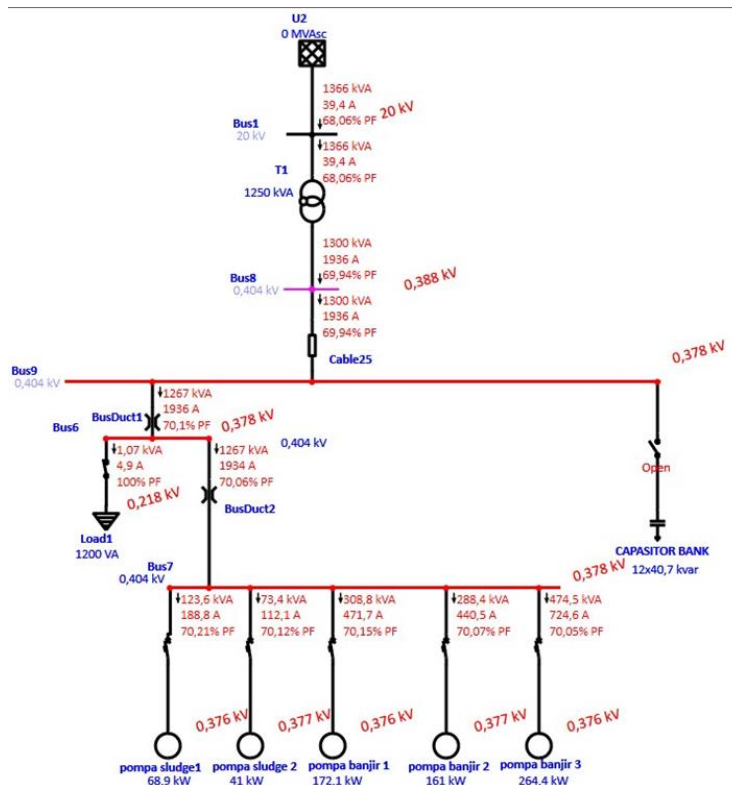
Analisa perencanaan kapasitor bank dilakukan untuk meningkatkan faktor daya (power factor) sistem kelistrikan agar lebih efisien, mengurangi rugi-rugi daya reaktif, serta menurunkan biaya tagihan energi listrik yang disebabkan oleh penalti faktor daya rendah.[9] Dalam studi ini, perangkat lunak ETAP 19.0.1 Berdasarkan data awal, sistem memiliki total daya aktif sebesar 707,95 kW dengan faktor daya sekitar 0,70.

Melalui fitur Power Flow dan Load Flow Analysis di ETAP, dilakukan perhitungan daya semu (S) dan daya reaktif (Q) aktual yang diperlukan untuk mencapai target perbaikan faktor daya menjadi 0,95. Hasil perhitungan menunjukkan bahwa untuk mencapai target tersebut diperlukan kompensasi daya reaktif sebesar 488,5 kVAR. Nilai

ini kemudian digunakan untuk menentukan kapasitas kapasitor bank yang sesuai, yaitu sebesar 488,5 kVAR atau dapat dibagi menjadi 12 step @ 40,7 kVAR agar fleksibel terhadap variasi beban.

a. Simulasi Etap 19.0.1 sebelum kompensasi faktor daya 0,70

Pada simulasi ini kita mencoba mematikan switch atau control power factor untuk mengetahui berapa nilai cosphi/power factor, besar nilai kVAR daya reaktif daya semu serta di masing-masing bus dalam kondisi semua pompa beroperasi. Pada masing masing beban pompa untuk nilai cosphinya kita turunkan menjadi 0,70.



Gambar 3. 1 Simulasi SLD sebelum kompensasi

Tabel 3.2 Data simulasi bus 1 sebelum kopensasi

ID	Terminal Bus	Type	Rating Tegangan (V)	Daya Nyata (kW)	Daya Reaktif (kvar)	Arus (A)	% PF
U2	Bus1	Power Grid	20000	929,8	1001	39,44	68,06

Hasil simulasi ETAP 19.0.1 pada sistem kelistrikan Rumah Pompa Kota Surabaya, diketahui bahwa sumber daya eksternal (Power Grid) dengan tegangan nominal 20 kV yang terhubung pada Bus1 memasok daya aktif sebesar 929,9 kW dan daya reaktif sebesar 1001,2 kVAR. Nilai faktor daya sistem sebelum dilakukan kompensasi tercatat sebesar 68,05% atau setara dengan 0,6805. Angka ini menunjukkan bahwa sistem masih memiliki karakteristik beban induktif yang cukup tinggi, yang ditandai dengan nilai daya reaktif yang hampir setara dengan daya aktif. Kondisi ini menyebabkan efisiensi sistem rendah, serta pembebanan arus yang lebih besar pada jaringan distribusi. Dalam simulasi tersebut juga ditunjukkan arus yang mengalir dari sumber ke sistem adalah sebesar 39,44 A.

Tabel 3.3 Data simulasi masing-masing bus

Bus ID	Tegangan Nominal (kV)	Type	Tegangan (V)	Daya Nyata Loading (kW)	Daya Reaktif Loading (kvar)	Arus (A) Loading
Bus1	20	SWNG	20000	929,8	1001	39,44
Bus6	0,404	Load	378	888,4	903,8	1936
Bus7	0,404	Load	378	887,4	903,8	1934
Bus8	0,404	Load	387,8	909,3	929,2	1936

Bus9	0,404	Load	378	888,4	903,8	1936
-------------	--------------	-------------	------------	--------------	--------------	-------------

Berdasarkan tabel hasil simulasi ETAP 19.0.1 yang ditampilkan, dapat dilihat kondisi tegangan dan beban pada beberapa bus di sistem distribusi listrik. Bus1 merupakan sumber utama dengan tegangan nominal 20 kV dan tegangan aktual 20.000 volt, yang berarti dalam kondisi normal. Namun, pada bus-bus tegangan rendah (Bus6 hingga Bus9) dengan tegangan nominal 0,404 kV, terjadi penurunan tegangan yang cukup signifikan. Tegangan pada Bus6, Bus7, dan Bus9 turun hingga 378 volt, sedangkan Bus8 masih sedikit lebih baik dengan tegangan 387,8 volt. Penurunan ini ditandai dengan warna merah dan ungu sebagai indikasi tegangan drop yang berbahaya.

Selain itu, beban aktif (kW) dan reaktif (kvar) yang dialirkan cukup besar, menunjukkan bahwa sistem bekerja dengan kapasitas tinggi. Arus beban (Amp Loading) di semua bus rendah sekitar 1936 A, yang menunjukkan sistem mendekati batas kemampuan hantar arusnya. Yang mengakibatkan kenaikan suhu pada kabel penghantar sehingga dapat mengurangi usia pakai kabel. Jika pada kondisi nyata hal ini diabaikan maka akan mempengaruhi beberapa komponen pada panel. Sebagai contoh komponen *softstater* yang paling berpengaruh saat terjadi *undervoltage*. Suplai tegangan pada *softstater* harus stabil. Tidak boleh berubah-ubah.

Tabel 3.4 Data beban sebelum kopensasi

Beban	Rating/ Limit	Tegangan (V)	Daya Nyata (kW)	Daya Reaktif (kvar)	Arus (A)	%PF	Tegangan terminal
penerangan	1,2 kVA	231	1,07	0	4,908	100	218,3
Pompa banjir 1	172,1 kW	400	215,1	219,5	471,7	70	376,2
Pompa banjir 2	161 kW	404	201,2	205,3	440,5	70	376,8
Pompa banjir 3	264,4 kW	404	330,5	337,2	724,6	70	376,2
Pompa sludge1	68,9 kW	404	86,12	87,87	188,8	70	376,2
Pompa sludge 2	41 kW	380	51,25	52,29	112,1	70	377

Beban penerangan memiliki rating sebesar 1,2 kVA dengan tegangan 231 V, mengonsumsi daya aktif 1,07 kW tanpa daya reaktif (0 kvar), menghasilkan arus sebesar 4,908 A, dan memiliki faktor daya sempurna (100%). Tegangan terminalnya sebesar 218,3 V.

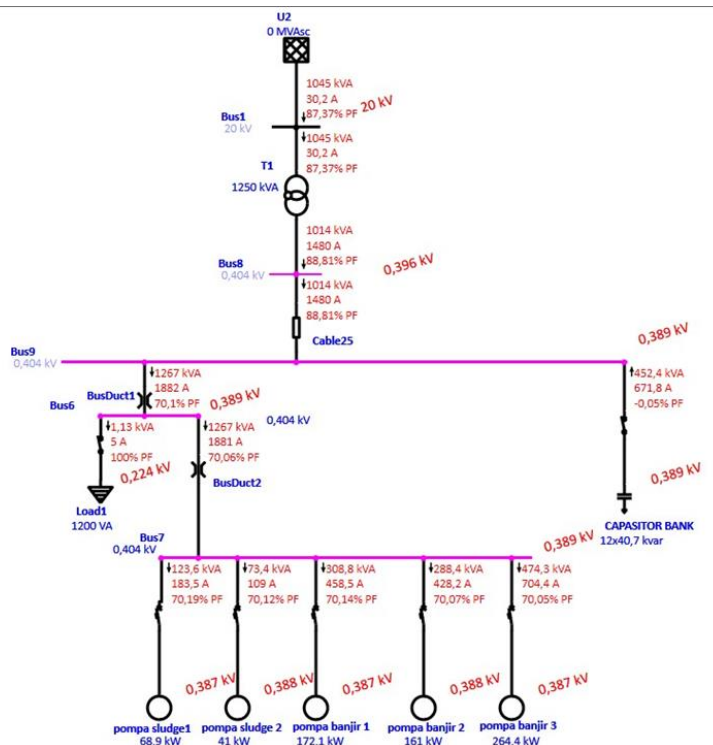
Beban Pompa Banjir 1 hingga Pompa Banjir 3 dan Pompa Sludge 1 hingga Pompa Sludge 2 bekerja pada tegangan sekitar 380–404 V dengan faktor daya yang sama, yaitu 70%. Pompa-pompa ini menunjukkan nilai daya nyata dan daya reaktif yang cukup tinggi, sejalan dengan nilai arus yang besar pula. Tegangan terminal semua pompa banjir dan sludge hampir sama, sekitar pada 376–377 V, yang menunjukkan kestabilan tegangan sistem.

Tabel 4.5 Drop tegangan sebelum pemasangan kapasitor bank

ID	Bus 1	Bus 2	Drop Tegangan (%)	Rugi Daya Nyata (kW)	Rugi Daya Reaktif (kvar)
Cable7	Bus7	pompa sludge1	0,44	0,664	0,169
Cable9	Bus7	pompa sludge 2	0,26	0,234	0,0597
Cable15	Bus7	pompa banjir 1	0,46	1,52	0,642
Cable20	Bus7	pompa banjir 2	0,3	0,846	0,446
Cable23	Bus7	pompa banjir 3	0,46	1,86	1,44
Cable25	Bus8	Bus9	2,42	20,85	25,46
T1	Bus1	Bus8	4,01	20,51	71,79

Terlihat bahwa transformator T1, yang menghubungkan Bus1 ke Bus8, mengalami penurunan tegangan tertinggi yaitu 4,01% dan rugi-rugi daya tertinggi dengan 20,51 kW dan 71,79 kvar, yang menandakan bahwa transformator ini adalah titik kritis dalam sistem dari segi efisiensi. Di sisi lain, kabel-kabel yang terhubung ke pompa memiliki penurunan tegangan relatif rendah (antara 0,2% hingga 0,46%) dan rugi-rugi daya yang lebih kecil. Namun, Cable23 yang menghubungkan Bus7 ke pompa banjir 3 menimbulkan rugi-rugi daya nyata dan reaktif tertinggi di antara kabel, yaitu 1,86 kW dan 1,44 kvar. Data ini penting dalam menentukan prioritas peningkatan sistem, di mana transformator T1 dan kabel Cable23 dapat menjadi fokus utama untuk meningkatkan efisiensi distribusi daya.

b. Simulasi Etap 19.0.1 setelah kompensasi faktor daya 0,95



Gambar 3. 2 SLD setelah kompensasi faktor daya

Gambar 3.2 menunjukkan diagram satu garis (Single Line Diagram/SLD) sistem kelistrikan rumah pompa setelah pemasangan atau penyambungan kapasitor bank. Sistem ini menerima suplai daya dari jaringan 20 kV melalui transformator 1250 kVA yang menurunkan tegangan ke 0,404 kV. Beban terdiri dari lima motor induksi dengan total daya aktif dan reaktif yang signifikan, terlihat dari arus dan daya semu yang tinggi pada tiap cabang. Nilai faktor daya awal di beberapa titik seperti BusDuct2 masih rendah, berkisar antara 70%, sebelum kompensasi dilakukan. Pemasangan kapasitor bank (CAP4) sebesar 12x40,7 kVAR di Bus9 bertujuan memperbaiki faktor daya secara keseluruhan.

Tabel 3. 6 Data simulasi bus 1 setelah kopensasi perbaikan faktor daya

ID	Terminal Bus	Type	Rate Tegangan (V)	Daya Nyata (kW)	Daya Reaktif (kvar)	Arus (A)	% PF
U2	Bus1	Power Grid	20000	912,9	508,3	30,16	87,37

Pada tabel 3.6 menunjukkan hasil simulasi pada ETAP 19.0.1 setelah dilakukan perbaikan faktor daya dengan pemasangan kapasitor bank 40 kvar. Pada terminal Bus1 dengan tegangan 20 kV, daya aktif (kW) yang disuplai sebesar 917,3 kW dan daya reaktif (kVAR) sebesar 509,9 kVAR. Arus yang mengalir tercatat sebesar 30,3 Ampere dengan nilai faktor daya yang telah meningkat menjadi 87,4%.

Tabel 3.7 Data simulasi masing-masing bus

Bus ID	Tegangan Nominal	Type	Tegangan (V)	Daya Nyata(kW) Loading	Daya Reaktif(kvar) Loading	Arus(A) Loading
Bus1	20	SWNG	20000	912,9	508,3	30,16
Bus6	0,404	Load	388,8	888,5	903,8	1882
Bus7	0,404	Load	388,8	887,4	903,8	1881
Bus8	0,404	Load	395,7	900,9	466,3	1480
Bus9	0,404	Load	388,8	888,7	903,8	1882

Tabel 3.7 menunjukkan hasil analisis beban pada beberapa bus dalam sistem distribusi tenaga listrik. Bus1, yang berperan sebagai sumber (tipe SWNG), memiliki tegangan nominal sebesar 20 kV dan menyuplai daya sebesar 912,9 kW dengan daya reaktif 508,3 kvar dan arus sebesar 30,16 A. Empat bus lainnya (Bus6 hingga Bus9) merupakan titik beban (Load) dengan tegangan nominal 0,404 kV. Terlihat bahwa ketiga bus (Bus6, Bus7, dan Bus9) memiliki tegangan aktual yang sama yaitu 388,8 V, sedangkan Bus8 memiliki tegangan lebih tinggi yaitu 395,7 V.

Daya nyata (kW) pada masing-masing beban berkisar antara 887,4 hingga 900,9 kW, yang menunjukkan distribusi daya aktif yang cukup merata. Namun, daya reaktif yang ditanggung oleh Bus6, Bus7, dan Bus9 sangat besar, yaitu masing-masing 903,8 kvar, sedangkan Bus8 hanya menanggung 466,3 kvar. Hal ini mengindikasikan adanya konsumsi daya reaktif tinggi pada sebagian besar beban, yang bisa menyebabkan rendahnya faktor daya sistem secara keseluruhan.

Tabel 3.8 Data simulasi beban setelah kompensasi

ID	Rating/Limit	Tegangan Terukur (V)	Daya Nyata (kW)	Daya Reaktif (kvar)	Arus (A)	% PF
CAPASITOR BANK	-488,4 kvar	404	0	-452,5	671,8	0
Load1	1,2 kVA	231	1,13	0	5,048	100
pompa banjir 1	172,1 kW	400	215,1	219,5	458,5	70
pompa banjir 2	161 kW	404	201,2	205,3	428,2	70
pompa banjir 3	264,4 kW	404	330,5	337,2	704,4	70
pompa sludge1	68,9 kW	404	86,12	87,87	183,5	70
pompa sludge 2	41 kW	380	51,25	52,29	109	70

Kapasitor bank yang digunakan dalam sistem memiliki nilai daya reaktif sebesar -452,5 kVAr, menunjukkan fungsinya sebagai penyedia daya reaktif untuk meningkatkan faktor daya secara keseluruhan. Arus yang mengalir melalui kapasitor cukup besar, yaitu 671,8 A, dengan faktor daya sebesar 0 karena tidak terdapat daya aktif—hal ini sesuai dengan karakteristik kapasitor yang hanya memasok daya reaktif. Sementara itu, Load1 sebagai beban kecil memiliki daya aktif 1,07 kW dan tanpa daya reaktif, menghasilkan faktor daya sempurna sebesar 100%. Beban utama sistem terdiri dari lima motor (Mtr1 hingga Mtr5) yang bekerja pada tegangan sekitar 400–404 V, dengan daya aktif antara 51,25 hingga 330,5 kW dan daya reaktif berkisar antara 52,29 hingga 337,2 kVAr. Masing-masing motor memiliki faktor daya sebesar 70%. Untuk menganalisis penurunan tegangan (drop voltage) pada tiap bus, diperlukan penyesuaian nilai $\cos \phi$ pada masing-masing beban.

Tabel 3.9 Drop tegangan dan rugi-rugi daya setelah pemasangan kapasitor bank

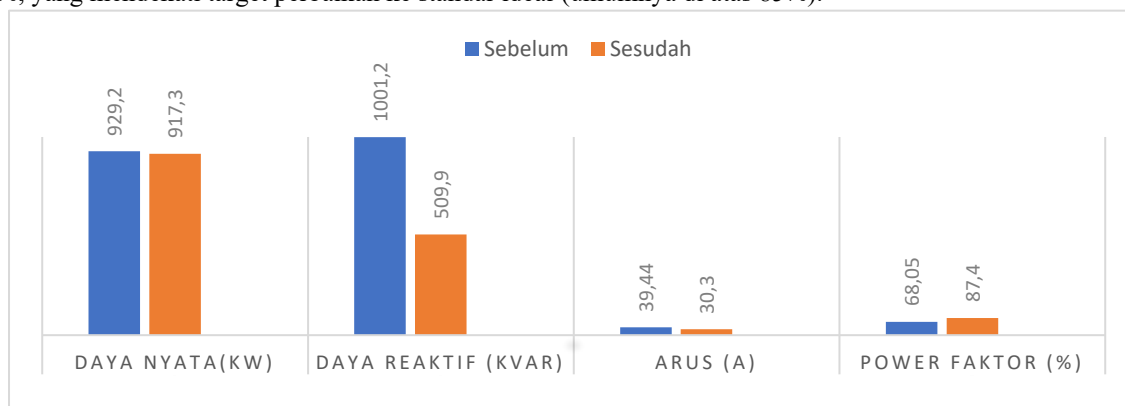
ID	Bus 1	Bus 2	Drop Tegangan (%)	Rugi Daya Nyata (kW)	Rugi Daya Reaktif (kVAr)
Cable5	Bus9	CAPASITOR BANK	-0,02	0,216	0,0812
Cable7	Bus7	pompa sludge1	0,43	0,628	0,16
Cable9	Bus7	pompa sludge 2	0,26	0,222	0,0565
Cable15	Bus7	pompa banjir 1	0,45	1,43	0,606
Cable20	Bus7	pompa banjir 2	0,29	0,8	0,422
Cable23	Bus7	pompa banjir 3	0,45	1,76	1,37

Cable25	Bus8	Bus9	1,7	12,19	14,89
T1	Bus1	Bus8	2,06	12	41,99

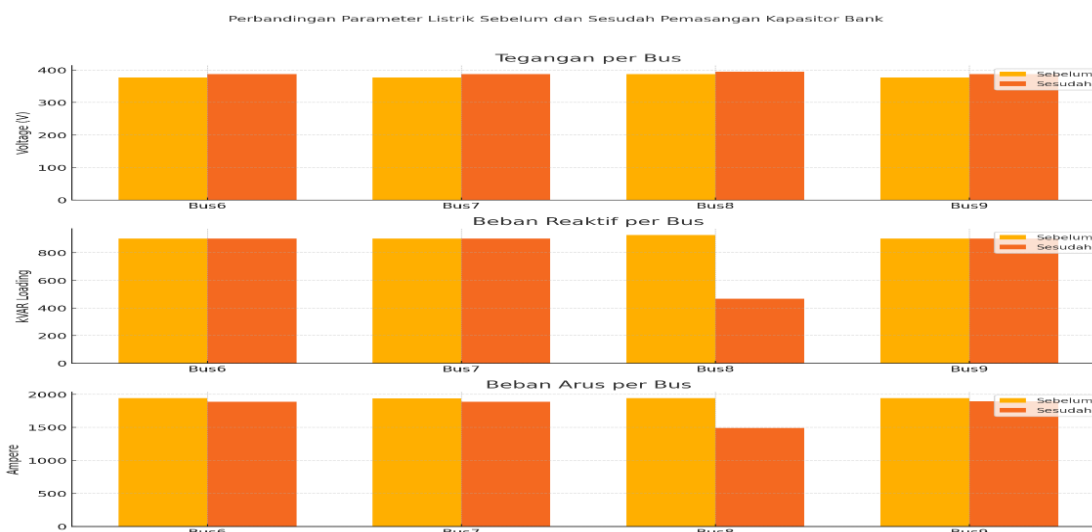
Hasil analisis pada Tabel 3.8 menunjukkan bahwa pemasangan kapasitor bank pada Bus9 memberikan dampak positif terhadap efisiensi sistem kelistrikan. Terjadi penurunan rugi daya nyata sebesar 0,216 kW dan rugi daya reaktif sebesar 0,0812 kVAR pada kabel5, dengan penurunan tegangan yang sangat kecil bahkan negatif sebesar -0,02%, yang mengindikasikan adanya peningkatan tegangan lokal. Selain itu, perbaikan faktor daya juga menyebabkan penurunan rugi daya secara keseluruhan pada jaringan. Contohnya, rugi daya pada Cable25 turun menjadi 12,19 kW dan 14,89 kVARh, sedangkan pada kabel T1 menjadi 12 kW dan 41,99 kVARh, keduanya menunjukkan penurunan dibandingkan sebelum pemasangan kapasitor. Rugi-rugi pada kabel yang terhubung ke pompa, seperti Cable7, Cable9, Cable15, Cable20, dan Cable23, juga mengalami penurunan, sementara penurunan tegangan tetap dalam batas wajar, yaitu antara 0,26% hingga 0,45%. Hal ini menandakan bahwa sistem telah bekerja lebih efisien setelah dilakukan perbaikan faktor daya.[2][10]

3.4 Perbandingan hasil simulasi perbaikan Faktor daya pada Etap 19.0.1

Pada kondisi sebelum pemasangan kapasitor, terlihat bahwa beban aktif (kW) sebesar 929,9 kW, daya reaktif (kVAR) sebesar 1001,2 kVAR, arus sebesar 39,44 A, dan faktor daya hanya mencapai 68,05%. Ini menunjukkan bahwa sistem memiliki beban reaktif yang tinggi dan faktor daya yang rendah, yang berakibat pada pemborosan energi dan penurunan efisiensi sistem distribusi. Setelah dilakukan pemasangan kapasitor bank sebagai kompensasi daya reaktif, simulasi menunjukkan perubahan signifikan. Beban aktif sedikit turun menjadi 917,3 kW (perubahan kecil karena kondisi dinamis atau toleransi simulasi), namun daya reaktif turun drastis menjadi 509,9 kVAR. Arus juga berkurang menjadi 30,3 A, yang menandakan berkurangnya beban pada sistem. Faktor daya naik signifikan menjadi 87,4%, yang mendekati target perbaikan ke standar ideal (umumnya di atas 85%).



Gambar 3.1 Grafik perbandingan simulasi pada bus I sebelum dan sesudah pemasangan kapasitor bank



Gambar 4.2 Grafik perbandingan simulasi pada bus 6,7,8,9 sebelum dan sesudah pemasangan kapasitor bank

Pada grafik pertama terlihat bahwa tegangan di seluruh bus mengalami peningkatan setelah pemasangan kapasitor bank. Misalnya, Bus6 yang sebelumnya memiliki tegangan 377 V meningkat menjadi 387,7 V. Hal ini menunjukkan adanya peningkatan tegangan sistem akibat pengurangan beban reaktif yang mengurangi drop tegangan pada jaringan distribusi. Grafik kedua menunjukkan beban reaktif mengalami penurunan signifikan terutama pada Bus8. Sebelum pemasangan kapasitor, beban reaktif di Bus8 adalah 929,4 kVAR dan setelah pemasangan menjadi hanya 467,5

kVAR. Ini mencerminkan efektivitas kapasitor bank dalam mengurangi kebutuhan daya reaktif dari jaringan dan meningkatkan efisiensi sistem secara keseluruhan. Grafik ketiga menampilkan penurunan arus pada semua bus setelah pemasangan kapasitor bank. Contohnya, arus pada Bus8 menurun dari 1941 A menjadi 1491 A. Penurunan ini terjadi karena berkurangnya daya reaktif yang harus dialirkan oleh sistem, sehingga arus total yang mengalir juga menurun. Ini berdampak positif dalam mengurangi kerugian daya (losses) dan memperpanjang umur peralatan listrik.

3.5 Perkiraan potensi penghematan biaya energi listrik

Penghematan biaya listrik yang dimaksud adalah faktor dari biaya denda penalti atas kelebihan pemakaian kVARh yang dikenakan pada rumah pompa atau sebuah Perusahaan apabila perusahaan memiliki faktor daya kurang dari 0,85. Hal ini telah ditetapkan di PERMEN ESDM No 28 Tahun 2016 Tentang Tarif Tenaga Listrik oleh PLN.[11]

• Perhitungan Penghematan

Trafo : 1.250kVA
Waktu operasi : 3 jam (waktu rata-rata pengoprasian semua pompa dalam 1 hari)
Faktor daya : 0,70
Daya beban : 707,95 kW
Faktor daya ditingkatkan menjadi 0,95

• Perhitungan pemakaian

Pemakaian perbulan: 3 jam/hari x 30 hari x 707,95 kW = 63.715 kWh
Batas kVARh yang dibebaskan oleh PLN: 0,70 x 63.715 = 44.600 kVARh

• Perhitungan sebelum kompensasi

(cosphi =0.70 maka tan phi = 1,02)
Daya reaktif terpakai:
Daya beban x tan phi = 707,95 x 1.02 =722,109 kVAR

• Pemakaian Daya Reaktif perbulan

722,109kVAR x 3 jam/hari x 30 hari = 64.989 kVARh
Denda Kelebihan Daya Reaktif:
(64.989 – 44.600) x Rp. 1.522,88 = Rp.31.050.000,-(per bulan)

• Perhitungan setelah kompensasi

(cosphi = 0,95 maka tan phi = 0,33)
Daya reaktif terpakai:
Daya beban x tan phi 707,95 x 0,33 = 233,62 kVAR

• Pemakaian daya reaktif perbulan

233,62kVAR x 3 jam/hari x 30 hari = 21.025 kVARh
Denda kelebihan daya reaktif:
(21.025 – 44.600) x Rp. 1.522,88 = Negatif (tidak membayar denda)

Biaya penghematan setelah pemasangan kapasitor bank dengan investasi awal sebesar Rp. 158.000.000,- untuk pemasangan kapasitor bank maka,

$$Paybackperiod = \frac{investasi\ awal}{biaya\ pinalti} = \frac{158.000.000}{31.050.000} = 5\ bulan$$

Dalam waktu 5 bulan akan investasi kapasitor bank akan terlunasi.dengan pemasangan kapasitor bank akan menghemat biaya Rp. 372.000.600,- dalam satu tahun.[12]

Jika Mengacu pada tabel 4.1 tagihan atau denda pada bulan mei 2024 mencapai Rp. 49.923.052 dengan pemakaian 32.782 kvar.Jika di dibandingkan dengan nilai investasi awal dengan harga pemasangan panel kapasitor bank sebesar Rp. 158.000.000.[13]

$$Paybackperiod = \frac{investasi\ awal}{biaya\ pinalti} = \frac{158.000.000}{49.923.052} = 3,16\ bulan$$

Dalam waktu 3 bulan biaya peamasangan kapasitor bank akan terselesaikan setelah pemasangan kapasitor bank dan setelah pemasangan kapasitor bank akan terhindar dari denda kvar.

4. KESIMPULAN

Penelitian di rumah pompa P.A Prapen menunjukkan bahwa kondisi faktor daya antar pompa tidak seragam akibat perbedaan penggunaan kapasitor bank dan sistem starting. Pompa sludge dan pompa banjir memiliki nilai faktor daya bervariasi antara 0,75 hingga 0,97. Panel yang menggunakan individual compensation dan softstarter menunjukkan

kinerja koreksi daya reaktif yang lebih baik, namun saat semua pompa beroperasi bersamaan, faktor daya tetap menurun signifikan. Berdasarkan simulasi ETAP 19.0.1, pemasangan kapasitor bank dengan total kapasitas 488,485 kVAr (dibagi dalam 12 step masing-masing 40,7 kVAr) mampu meningkatkan faktor daya sistem dari 69,94% menjadi 88,81%, menurunkan arus dari 1936 A menjadi 1480 A, dan meningkatkan tegangan pada tiap bus. Perbaikan ini juga berdampak signifikan terhadap efisiensi biaya operasional. Sebelum kompensasi, konsumsi daya reaktif mencapai 64.989 kVArh per bulan dengan denda Rp 31.050.000, sedangkan setelah perbaikan turun menjadi 21.025 kVArh tanpa denda. Dengan biaya investasi sebesar Rp 158.000.000, pemasangan kapasitor bank memiliki periode pengembalian investasi hanya sekitar 5 bulan, atau 3,16 bulan berdasarkan denda aktual. Kesimpulannya, pemasangan kapasitor bank terbukti efektif dalam meningkatkan efisiensi sistem kelistrikan dan memberikan penghematan biaya yang signifikan.

REFERENCES

- [1] A. A. H. Palba, *SISTEM DISTRIBUSI DAYA LISTRIK / A S Pabla dan Abdul Hadi*. erlangga, 1986.
- [2] D. I. Wisma and N. Internasional, "Analisa Faktor Daya Menggunakan Capacitor Bank Untuk Meningkatkan Kualitas Daya Listrik Di Wisma Nusantara Internasional," *J. Sist. Inf. Univ. Suryadarma*, vol. 11, no. 2, pp. 257–266, 2014, doi: 10.35968/jsi.v11i2.1259.
- [3] P. T. Permata, H. Palm, O. Phpo, and K. I. M. Ii, "3 1,2,3," vol. 7, pp. 990–1001, 2024.
- [4] P. T. Sunrise, "Wahana : Tridarma Perguruan Tinggi Analysis of Capasitor Bank Installation for Power Quality," vol. 75, no. 2, pp. 60–72, 2023.
- [5] A. C. Clamp and P. Meter, "Cm3286 cm3286-01," no. May, 2017.
- [6] C. R. C. P. Llc, *Power quality* © 2002. 2002.
- [7] Persyaratan Umum Instalasi Listrik, "Persyaratan Umum Instalasi Listrik 2011 (PUIL 2011)," *DirJen Ketenagalistrikan*, vol. 2011, no. PUIL, pp. 1–133, 2011.
- [8] "kupdf.net_dasar-tenaga-listrik-amp-elektonika-daya-by-zuhalpdf.pdf."
- [9] B. I. Al Firdausi, M. A. Auliq, and F. Fitriana, "Analisis Kebutuhan Bank Kapasitor Untuk Perbaikan Faktor Daya di PT Beras Rajawali Menggunakan Optimal Capacitor Placement ETAP 19," *J. List. Instrumentasi, dan Elektron. Terap.*, vol. 5, no. 1, p. 39, 2024, doi: 10.22146/juliet.v5i1.89376.
- [10] G. Romadhona, R. Sapundani, B. N. Wibowo, and W. Prasitio, "Pengukuran dan Analisis Kualitas Daya Listrik di IGD dan IKBS Rumah Sakit Islam Purwokerto," vol. 6, no. 01, pp. 20–25, 2023.
- [11] Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral, "Peraturan Menteri Energi Dan Sumber Daya Mineral Nomor 28 tahun 2016," 2016.
- [12] M. Khairil Anwar -23211007, "METODE PERBAIKAN FAKTOR DAYA MENGGUNAKAN KAPASITOR BANK UNTUK MENGURANGI DAYA REAKTIF UNTUK PENINGKATAN KUALITAS DAYA LISTRIK PADA INDUSTRI."
- [13] S. Electric, "Panel Kapasitor Bank – Shinyu Electric." Accessed: Jun. 17, 2025. [Online]. Available: <https://shinyuelectric.com/product-category/panel-kapasitor-bank/>