

OPTIMISASI PENEMPATAN KAPASITOR BANK UNTUK MEREDUKSI RUGI DAYA MENGGUNAKAN *FLOWER POLLINATION ALGORITHM* PADA JARINGAN *AUXILIARY LOAD* PT.PJB PEMBANGKITAN INDRAMAYU 3X330 MW

Tito Wiratsongko ^{*)}, Tejo Sukmadi, and Susatyo Handoko.

Departemen Teknik Elektro, Universitas Diponegoro
Jl. Prof. Sudharto, SH, Kampus UNDIP Tembalang, Semarang 50275, Indonesia

^{*)E-mail: wiratito94@gmail.com}

Abstrak

Pada pembangkit listrik, besarnya energi yang diperlukan untuk *auxiliary load* sendiri berkisar antara 1-10% dari produksi energi yang dihasilkan. Jenis beban pada jaringan *auxiliary load* di pembangkit listrik kebanyakan adalah berupa motor listrik, seperti: pompa uap pengendali turbin, dan pompa sirkulasi air. Ada kecenderungan faktor daya rendah pada busbar beban di jaringan *auxiliary load* ($< 0,85$), diakibatkan banyaknya konsumsi daya reaktif sehingga mengakibatkan tingginya rugi-rugi daya pada saluran. Pada penelitian ini, dibahas mengenai optimisasi penempatan kapasitor bank untuk mereduksi faktor daya menggunakan FPA. Metode optimasi ini terinspirasi dari proses penyerbukan bunga oleh serangga yang ada di alam semesta. Metode ini akan membangkitkan sekawanan serangga yang tiap-tiap individunya membawa nilai konfigurasi kapasitor yang berbeda satu sama lain. Nilai-nilai inilah yang nantinya akan diselesaikan oleh algoritma metode ini untuk mendapatkan nilai yang paling optimal. Hasil penelitian membuktikan bahwa dengan menempatkan 53 kapasitor dengan total rating 1060 kVAR pada bus 24, 26, 28, 30, 34, 36, 38, 40, 42, 44, 50, 52, 54, 56, 60, 62, dan 66 mampu menurunkan rugi daya aktif sebesar 22,6 kW dan rugi daya reaktif menurun sebesar 28,1 kVAR sehingga didapatkan penghematan sebesar \$12.952,1681 dalam kurun waktu 5 tahun.

Kata kunci: auxiliary load, kapasitor, FPA, faktor daya

Abstract

At power plants, the amount of energy required for the auxiliary load itself ranges from 1-10% of the energy produced. The type of load on auxiliary load network in most power plants is in the form of electric motors, such as turbine steam pumps, and water circulation pumps. There is a low power factor trend in the load busbar in the auxiliary load network (<0.85), due to the large amount of reactive power consumption resulting in high loss of power in the channel. In this research, we discussed the optimization of bank capacitor placement to reduce power factor using FPA. This optimization method is inspired by the pollination process of flowers by insects in the universe. This method will spawn a flock of insects that each individually carry different capacitor configuration values to each other. These values will be solved by the algorithm of this method to get the most optimal value. The results show that by placing 53 capacitors with a total rating of 1060 kVAR on buses 24, 26, 28, 30, 34, 36, 38, 40, 42, 44, 50, 52, 54, 56, 60, 62, and 66 are able reducing active power losses by 22.6 kW and reactive power loss decreased by 28.1 kVAR to obtain savings of \$ 12,952,1681 within 5 years.

Keywords: auxiliary load, capacitor, FPA, power factor

1. Pendahuluan

Pada pembangkit listrik, besarnya energi yang diperlukan untuk *auxiliary load* sendiri berkisar antara 1-10% dari produksi energi yang dihasilkan. Berdasarkan data lapangan, sejak PT. PJB Pembangkitan Indramayu didirikan tanggal 31-10-2010, telah dilakukan studi aliran

daya untuk beban pemakaian sendiri (*auxiliary load*) menghasilkan faktor daya rendah yaitu rata-rata 0.8 pada tiap bus beban (dibawah nilai standar faktor daya yaitu 0.85) [1]. Meskipun pada pembangkit listrik, faktor daya pemakaian sendiri rendah tidak mendapat nilai denda tetapi perlu diadakan perbaikan untuk meningkatkan peningkatan faktor daya untuk menurunkan pemakaian

KVA sehingga memberikan daya tambahan yang tersedia pada transformator dan mengurangi masalah kerusakan pada alat [2]. Jika suatu jaringan tidak memiliki sumber daya reaktif maka kebutuhan beban reaktif dipikul oleh generator.[3]. Salah satu cara untuk mengurangi drop tegangan dan rugi daya lalu memperbaiki faktor daya adalah dengan menempatkan nilai kapasitor pada lokasi ukuran yang optimal.

2. Metode

2.1. Langkah Penelitian



Gambar 1. Diagram Alir Langkah Penelitian

2.2. Pengumpulan Data

Data-data yang diperlukan dalam penelitian ini diperoleh dari PT.PJB Pembangkitan Indramayu, di bidang *electrical* dan *engineering*. Data yang diambil berupa data topologi jaringan, data gardu induk tujuan, *rating*

generator utama, *rating* Trafo utama, *rating* Trafo SST, *rating* Trafo UAT, data beban per busbar di *control room* pembangkitan. Selanjutnya melakukan pengolahan data dan menjalankan *load flow* menggunakan Program ETAP 12.6.0, melakukan analisis aliran daya menggunakan metode newton-rhapson, dan mensimulasikan program penempatan kapasitor dengan Matlab R2009a.

2.3. Pengolahan Data

Setelah data-data yang diperlukan sudah lengkap, menggambar kembali jaringan *auxiliary load* pada ETAP 12.6.0, lalu menjalankan *load flow analysis* untuk mengetahui proses aliran daya pada sistem sehingga mendapat data awal sebelum dipasang kapasitor bank seperti *voltage magnitude*, Pload, Qload, dan faktor daya pada tiap bus sehingga dapat menjadi acuan untuk pemilihan kandidat bus untuk ditempatkan kapasitor bank yang optimal.

2.4. Optimisasi Penempatan Kapasitor bank dengan metode FPA

Dimulaidengan memasukkan parameter-parameter dari FPA sehingga dapat dilakukan optimasi. Parameter yang dimasukkan berupa iterasi, jumlah *populasi*, dan probability switch. Setelah dilakukan optimasi maka akan didapatkan *rating*, jumlah, dan lokasi kapasitor bank yang optimal dengan fungsi biaya yang minimum. Langkah selanjutnya melengkapi analisis dengan kesimpulan dan saran.

3. Hasil dan Analisis

3.1. Kondisi Sebelum Penempatan Kapasitor Bank

Pada kondisi sebelum penempatan kapasitor bank akan dihitung berdasarkan data *existing*, Matlab, dan Etap. Kemudian dilakukan perbandingan keadaan sebelum dan setelah pemasangan kapasitor bank.

3.1.2. Perhitungan Kondisi Awal dengan Matlab

Data yang digunakan pada pengujian ini adalah data *auxiliary load* PT.PJB Pembangkitan Indramayu 3x330 MW dengan tegangan kerja pada bus kandidat adalah sebesar 0,4 kV dan MVAbase 100 MVA. Dengan melakukan studi aliran daya pada software Matlab R2009a maka didapat faktor daya pada tiap bus beban ;

Tabel 1. Data faktor daya pada tiap beban

Bus Beban	Jenis	Menuju Beban	PF awal
22	Beban statis	unit illuminating pc #1	0,98
24	Beban Induktif	electrostatic precipitator PCA #1	0,8
26	Beban Induktif	unit work PCA #1	0,79
28	Beban Induktif	unit work PCB #1	0,85
30	Beban Induktif	electrostatic precipitator PCB #1	0,8
32	Beban statis	main building common PCA	0,91
34	Beban Induktif	chemical PCA	0,8
36	Beban Induktif	circulating water PCA	0,8
38	Beban Induktif	coal conveying PCA	0,8
40	Beban Induktif	coal conveying PCB	0,8
42	Beban Induktif	circulating water PCB	0,81
44	Beban Induktif	chemical PCB	0,8
46	Beban statis	main building common PCB	0,97
48	Beban statis	unit illuminating pc #2	0,97
50	Beban Induktif	electrostatic precipitator PCA #2	0,8
52	Beban Induktif	unit work PCA #2	0,79
54	Beban Induktif	unit work PCB #2	0,83
56	Beban Induktif	electrostatic precipitator PCB #2	0,8
58	Beban statis	unit illuminating pc #3	0,97
60	Beban Induktif	electrostatic precipitator PCA #3	0,8
62	Beban Induktif	unit work PCA #3	0,79
64	Beban Induktif	unit work PCA #3	0,85
66	Beban Induktif	electrostatic precipitator PCB #3	0,8

Berdasarkan tabel 1. dapat dilihat bahwa faktor daya bus 26, 52, dan 62 sebesar 0,79 dan bus 24, 30, 34, 36, 38, 40, 44, 50, 56, 60 dan 66 sebesar 0,8. Faktor daya pada bus-bus tersebut jauh dari nilai standar yang ditetapkan PT. PLN yaitu 0,85 sehingga perlu dilakukan penempatan kapasitor bank yang optimal untuk meningkatkan faktor daya pada bus-bus tersebut. Faktor daya rendah dapat disebabkan oleh besarnya rugi daya yang diakibatkan oleh kenaikan arus, dimana kerugian yang timbul berbanding lurus dengan arus pangkat dua dan beban (terutama beban induktif) terlalu banyak mengkonsumsi daya reaktif, dimana daya reaktif dibutuhkan untuk membangkitkan medan magnet pada stator motor.

3.1.3. Perhitungan Kondisi Awal dengan Matlab

Sebelum melakukan optimisasi, diperlukan kondisi awal untuk dibandingkan dengan output dari program apakah sudah sesuai dengan tujuan. kondisi awal sistem dapat diketahui dengan menggunakan metode aliran daya *newton-rhapson* yaitu berupa *voltage magnitude*, *Ploss* awal, *Qloss* awal, dan *Sloss* awal. Berikut merupakan kondisi awal pada sistem sebelum penempatan kapasitor bank:

Tabel 2. Tegangan tiap bus sebelum dipasang kapasitor bank

No Bus	V (pu)	Pload (MW)	Qload (MVAR)	Pgen (MW)	Qgen (MVAR)
1	1	0	0	282,02	97,79
2	0,9938	0	0	0	0
3	0,9808	0	0	0	0
4	1	0	0	282,02	97,79
5	0,9938	0	0	0	0
6	0,9808	0	0	0	0

7	1	0	0	281,68	97,57		
8	0,9938	0	0	0	0		
9	0,9808	0	0	0	0		
10	0,9522	0	0	0	0		
11	0,9907	0	0	0	0		
12	0,9926	0	0	0	0		
13	0,9910	0	0	0	0		
14	0,9927	0	0	0	0		
15	0,9902	0	0	0	0		
16	0,9922	0	0	0	0		
17	0,9910	0	0	0	0		
18	0,9927	0	0	0	0		
19	0,9925	0	0	0	0		
20	0,9925	0	0	0	0		
21	0,991	0	0	0	0		
22	0,9832	0,007	0,001	0	0		
23	0,9907	0	0	0	0		
24	0,9565	0,172	0,129	0	0		
25	0,9909	0	0	0	0		
26	0,9632	0,056	0,042	0	0		
27	0,9925	0	0	0	0		
28	0,9603	0,036	0,022	0	0		
29	0,9925	0	0	0	0		
30	0,9655	0,055	0,041	0	0		
31	0,9902	0	0	0	0		
32	0,9886	0,001	0,0005	0	0		
33	0,9901	0	0	0	0		
34	0,9481	0,054	0,041	0	0		
35	0,9894	0	0	0	0		
36	0,9569	0,523	0,392	0	0		
37	0,9900	0	0	0	0		
38	0,9600	0,121	0,091	0	0		
39	0,9919	0	0	0	0		
40	0,9619	0,121	0,091	0	0		
41	0,9916	0	0	0	0		
42	0,9672	0,381	0,276	0	0		
43	0,9922	0	0	0	0		
44	0,9487	0,056	0,042	0	0		
45	0,9920	0	0	0	0		
46	0,9907	0,001	0,0003	0	0		
47	0,9910	0	0	0	0		
48	0,9650	0,007	0,002	0	0		
49	0,9907	0	0	0	0		
50	0,9565	0,172	0,129	0	0		
51	0,9909	0	0	0	0		
52	0,9629	0,056	0,043	0	0		
53	0,9925	0	0	0	0		
54	0,9603	0,056	0,042	0	0		
55	0,9925	0	0	0	0		
56	0,9683	0,049	0,037	0	0		
57	0,9926	0	0	0	0		
58	0,9833	0,007	0,002	0	0		
59	0,9922	0	0	0	0		
60	0,9580	0,172	0,129	0	0		
61	0,9927	0	0	0	0		
62	0,9644	0,056	0,043	0	0		
63	0,9925	0	0	0	0		
64	0,9603	0,036	0,022	0	0		
65	0,9925	0	0	0	0		
66	0,9787	0,054	0,004	0	0		
67	0,9504	822,7	206,13	0	0		
68	0,9937	0	0	0	0		
69	0,9915	0	0	0	0		
70	0,9929	0	0	0	0		
71	0,9937	0	0	0	0		
72	0,9915	0	0	0	0		
73	0,9929	0	0	0	0		
74	0,9937	0	0	0	0		
75	0,9928	0	0	0	0		
76	0,9929	0	0	0	0		
TOTAL				824,94	207,75	845,72	293,15

Pada tabel 2. dapat dilihat bahwa tegangan pada bus 34 = 0.9481 dan bus 44 = 0.9487. tegangan bus tersebut tidak memenuhi standar SPLN 7 2 tahun 1987 yaitu batas drop tegangan yang dapat ditoleransi yaitu sebesar 5%. Pada interface program juga menampilkan nilai P_{loss} awal sebesar 207946 kW dan Q_{loss} awal sebesar 85429 kW.. Pada program simulasi ini, fungsi tujuan untuk proses optimisasi dapat dirumuskan dalam bentuk matematis sebagai berikut :

$$Min. F = \sum_{ii=1}^{N_{bus}} (I_{(ii)} \cdot KI + KB \cdot C_{(ii)} + KO \cdot x_{(ii)} T) + T P_L^i KE \quad (1)$$

dimana

- Nbus = Jumlah kandidat bus
- I = 0 atau 1, 0 artinya tidak ada kapasitor bank yang terpasang pada bus
- KI = Biaya pemasangan kapasitor bank tiap bus
- KB = Biaya pembelian kapasitor bank dalam kVar
- C = Ukuran kapasitor bank dalam kVar
- KO = Biaya operasi dan pemeliharaan per bank, per tahun
- X = Jumlah kapasitor bank
- T = Waktu perencanaan (Tahun)
- KE = Biaya energy per kWh
- P_L^i = Jumlah rugi daya aktif setelah dipasang kapasitor bank

Dengan meminimumkan fungsi tujuan seperti persamaan (1) maka akan didapatkan biaya minimum dalam penempatan kapasitor bank dengan nilai yang optimal sesuai waktu yang direncanakan sehingga dapat mereduksi rugi-rugi daya sepanjang saluran .

Hasil penghematan setelah penempatan kapasitor bank selama periode waktu yang telah direncanakan dapat dihitung dengan rumus matematis sebagai berikut:

$$S = T (P_{L1}^i - P_{L2}^i) KE - \sum_{ii=1}^{N_{bus}} (I_{(ii)} \cdot KI + KB \cdot C_{(ii)} + KO \cdot x_{(ii)} T) \quad (2)$$

- Dimana S = Nilai penghematan (\$)
- P_{L1}^i = Jumlah rugi daya aktif sistem sebelum penempatan kapasitor bank (MW)
- P_{L2}^i = Jumlah rugi daya aktif sistem setelah penempatan kapasitor bank (MW)

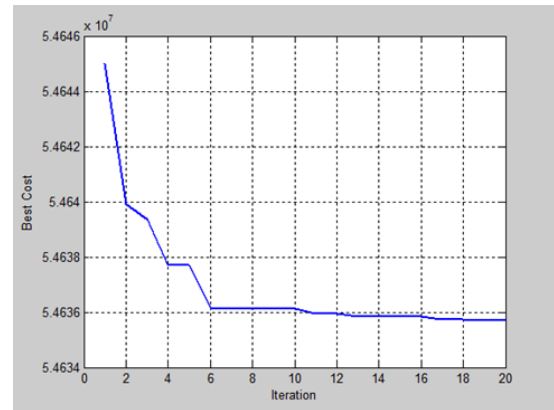
3.2. Optimisasi Penempatan Kapasitor Bank dengan FPA

Melalui pengujian ini dimaksudkan akan mendapat nilai dan letak kapasitor bank yang optimal untuk mengurangi rugi daya sepanjang saluran sehingga dapat memperbesar biaya penghematan. Parameter *FPA* yang digunakan adalah Max Iterasi = 100, Jumlah Populasi = 50, Probability Switch = 0,8. Berikut nilai parameter sistem yang digunakan :

Tabel 3. Parameter Sistem

Jenis Parameter	Parameter	Nilai
Parameter Fungsi Tujuan	Biaya Energi per KWH (KE)	0,06 \$/kWh
	Vkerja	0,4 kV
	Waktu perencanaan (T)	5 tahun
	Kandidat Bus	22-66
Parameter FPA	Jumlah Populasi	50
	Max. Iterasi	100
	Probability Switch	0,8

Setelah proses optimisasi berlangsung maka akan muncul grafik nilai fungsi tujuan tiap iterasi. Berdasarkan gambar 2 dapat dilihat bahwa sistem belum mencapai konvergen sebelum iterasi maksimum (max iterasi = 100), pada FPA jika belum mencapai konvergen maka akan berhenti pada iterasi maksimum dengan nilai fitness yang minimum sebesar 54.635.246,91. Besarnya jumlah iterasi yang diperlukan dalam pengujian dapat bervariasi dikarenakan sistem optimisasi menggunakan flower pollination algorithm yang membangkitkan bilangan random. *Rating* kapasitor bank yang digunakan adalah 20 Kvar



Gambar 2. Grafik nilai fungsi tujuan dari tiap iterasi

3.3. Kondisi Setelah Penempatan Kapasitor Bank

3.3.1. Profil Tegangan Setelah Pemasangan Kapasitor Bank

Setelah proses optimisasi selesai, diperoleh hasil penempatan kapasitor bank yang optimal. Pemasangan kapasitor bank yang optimal dengan kandidat bus 22 – bus 66 adalah pada bus 26, 28, 30, 34, 44, 52, 54, 56, 62, 64 dan 66 sejumlah 1 kapasitor, bus 40 sebesar 2 kapasitor, bus 38 sejumlah 3 kapasitor, bus 24 dan 50 sebesar 5 kapasitor, bus 42 sebesar 6 kapasitor dan bus 36 sejumlah 16 kapasitor. Berikut ditampilkan data *voltage magnitude* tiap bus setelah pemasangan kapasitor bank:

Tabel 4. Tegangan tiap bus setelah pemasangan kapasitor bank

No Bus	Vm (pu)	Pload (MW)	Qload (MVAR)	Pgen (MW)	Qgen (MVAR)
1	1	0	0	282,01	97,3
2	0,9938	0	0	0	0
3	0,9808	0	0	0	0

4	1	0	0	282,01	97,3
5	0,9938	0	0	0	0
6	0,9808	0	0	0	0
7	1	0	0	281,69	97,29
8	0,9938	0	0	0	0
9	0,9808	0	0	0	0
10	0,9522	0	0	0	0
11	0,9921	0	0	0	0
12	0,9930	0	0	0	0
13	0,9923	0	0	0	0
14	0,9931	0	0	0	0
15	0,9916	0	0	0	0
16	0,9926	0	0	0	0
17	0,9923	0	0	0	0
18	0,9931	0	0	0	0
19	0,9930	0	0	0	0
20	0,9931	0	0	0	0
21	0,9923	0	0	0	0
22	0,9845	0,007	0,001	0	0
23	0,9920	0	0	0	0
24	0,9719	0,172	0,129	0	0
25	0,9922	0	0	0	0
26	0,9716	0,056	0,042	0	0
27	0,9930	0	0	0	0
28	0,9748	0,036	0,022	0	0
29	0,9930	0	0	0	0
30	0,9730	0,055	0,041	0	0
31	0,9915	0	0	0	0
32	0,9899	0,001	0,0005	0	0
33	0,9915	0	0	0	0
34	0,9606	0,054	0,041	0	0
35	0,9908	0	0	0	0
36	0,9725	0,523	0,392	0	0
37	0,9914	0	0	0	0
38	0,9719	0,121	0,091	0	0
39	0,9924	0	0	0	0
40	0,9765	0,121	0,091	0	0
41	0,9921	0	0	0	0
42	0,9792	0,381	0,276	0	0
43	0,9925	0	0	0	0
44	0,9604	0,056	0,042	0	0
45	0,9926	0	0	0	0
46	0,9913	0,001	0,0003	0	0
47	0,9922	0	0	0	0
48	0,9831	0,007	0,002	0	0
49	0,9920	0	0	0	0
50	0,9691	0,172	0,129	0	0
51	0,9922	0	0	0	0
52	0,9712	0,056	0,043	0	0
53	0,9930	0	0	0	0
54	0,9748	0,036	0,022	0	0
55	0,9930	0	0	0	0
56	0,9759	0,049	0,037	0	0
57	0,9930	0	0	0	0
58	0,9839	0,007	0,002	0	0
59	0,9928	0	0	0	0
60	0,9755	0,172	0,129	0	0
61	0,9929	0	0	0	0

62	0,9720	0,056	0,043	0	0
63	0,9930	0	0	0	0
64	0,9748	0,036	0,022	0	0
65	0,9930	0	0	0	0
66	0,9736	0,054	0,004	0	0
67	0,9504	822,709	206,135	0	0
68	0,9937	0	0	0	0
69	0,9928	0	0	0	0
70	0,9933	0	0	0	0
71	0,9937	0	0	0	0
72	0,9926	0	0	0	0
73	0,9933	0	0	0	0
74	0,9937	0	0	0	0
75	0,9932	0	0	0	0
76	0,9933	0	0	0	0
TOTAL	824,94	207,75	845,7	291,9	

Profil tegangan pada tiap bus meningkat dan sudah memenuhi standar SPLN 72 tahun 1987 dengan toleransi 5%. Dimana nilai tegangan minimum terdapat di bus 67 sebesar 0,9504 pu.

3.3.2. Data Losses Tiap Saluran Setelah Pemasangan Kapasitor Bank

Tabel 5. Rugi daya tiap saluran setelah pemasangan kapasitor

Bus menuju	Bus yang dituju	Ploss (kW)	Qloss (kVAR)
1	2	0,0019	44,4875
2	3	0,0038	796,3071
3	10	619,500	0,00027
4	5	0,0019	44,487
5	6	0,0038	796,3066
6	10	619,3496	0,00027
7	8	0,0019	44,391
8	9	0,0038	796,37
9	10	619,4019	0,00027
11	13	0,0831	0,0181
69	13	0,2305	0,0503
12	14	0,0208	0,0045
70	14	0,0356	0,0078
13	21	0,00006	0,00001
21	22	0,132	0,198
13	23	0,0392	0,0086
23	24	2,7933	4,1899
13	25	0,0043	0,00094
25	26	0,7716	1,1574
14	27	0,0036	0,0007
27	28	1,2692	1,9038
14	29	0,00007	0,00001
29	30	0,1585	0,2377
11	15	0,3289	0,0719
15	31	0,000001	0,0000003
31	32	0,02	0,0301
15	33	0,0041	0,0008
33	34	1,1197	1,6796
15	35	0,3629	0,0792

35	36	8,0871	12,1303
15	37	0,0247	0,0054
37	38	2,1973	3,296
12	16	0,2165	0,0473
16	39	0,0192	0,0042
39	40	1,7116	2,5675
16	41	0,2116	0,0462
41	42	2,9191	10,217
16	43	0,004	0,0009
12	13	0,004	0,0009
43	44	1,2103	1,8154
16	45	0,000001	0,0000003
45	46	0,0173	0,0259
11	17	0,0829	0,0181
72	17	0,2303	0,0502
17	47	0,00007	0,00001
47	48	0,1411	0,2116
17	49	0,0392	0,0086
49	50	2,7933	4,19
17	51	0,0044	0,0009
51	52	0,7778	1,671
12	18	0,024	0,0052
73	18	0,0354	0,0077
18	53	0,0026	0,0005
53	54	0,9101	1,3651
28	55	0,00007	0,00001
55	56	0,1731	0,2597
12	19	0,002	0,0004
75	19	0,0439	0,0096
19	57	0,00007	0,00001
57	58	0,1409	0,2113
19	59	0,0391	0,0085
59	60	2,7898	4,1848
19	61	0,0044	0,0009
61	62	0,7771	1,656
12	20	0,0229	0,005
76	20	0,0362	0,0079
20	63	0,0026	0,0005
63	64	0,9101	1,3651
20	65	0,0007	0,00001
65	66	0,1585	0,2377
10	67	0,001	0
2	68	0,0156	0,0003
68	69	0,3574	1,3409
68	70	0,0552	0,2072
5	71	0,0156	0,0003
71	72	0,3572	1,3401
71	73	0,0549	0,2058

8	74	0,0056	0,0001
74	75	0,068	0,2553
74	76	0,0562	0,2108
TOTAL		20772,41	85400,32

Pada tabel 5 Dapat diketahui bahwa losses tiap saluran setelah pemasangan kapasitor bank mengalami penurunan. Dimana total penurunan losses daya aktif menjadu sebesar 20772,41 kW (berkurang 22,13 kW dibanding dengan *P loss* awal) dan daya reaktif sebesar 85400,32 kVAR (berkurang 28,1 kW dibanding dengan *Q loss* awal. Penurunan *Qloss* jauh lebih besar , ini dikarenakan kapasitor bank yang tersusun secara paralel pada bus beban menyuplai arus reaktif yang dibutuhkan oleh beban sehingga kebutuhan daya reaktif pada saluran berkurang. Peningkatan faktor daya akibat pemasangan kapasitor bank ditunjukkan tabel 6 berikut ini.

3.3.1.Faktor Daya Bus Beban Setelah Pemasangan Kapasitor Bank

Tabel 6. Perbaikan faktor daya setelah pemasangan kapasitor bank

Bus Beban	Menuju Beban	PF setelah
22	unit illuminating pc #1	0,98
24	electrostatic precipitator PCA #1	0,98
26	unit work PCA #1	0,92
28	unit work PCB #1	0,99
30	electrostatic precipitator PCB #1	0,92
32	main building common PCA	0,89
34	chemical PCA	0,92
36	circulating water PCA	0,98
38	coal conveying PCA	0,96
40	coal conveying PCB	0,99
42	circulating water PCB	0,96
44	chemical PCB	0,92
46	main building common PCB	0,95
48	unit illuminating pc #2	0,95
50	electrostatic precipitator PCA #2	0,95
52	unit work PCA #2	0,91
54	unit work PCB #2	0,99
56	electrostatic precipitator PCB #2	0,94
58	unit illuminating pc #3	0,96
60	electrostatic precipitator PCA #3	0,99
62	unit work PCA #3	0,91
64	unit work PCA #3	0,99
66	electrostatic precipitator PCB #3	0,93

Berdasarkan tabel 6 dapat diketahui bahwa faktor daya tiap bus meningkat dan sudah melewati batas nilai faktor daya yang ditentukan oleh PLN yaitu 0,85 dimana faktor daya terendah menjadi 0,89 yang semula 0,79.

3.4. Perbandingan Sebelum dan Setelah Penempatan Kapasitor Bank

Setelah dilakukan pemasangan kapasitor bank diperoleh perbaikan faktor daya dan perbaikan profil tegangan serta aliran daya saluran. Untuk lebih jelasnya, berikut ini adalah hasil perbandingan kondisi sistem sebelum dan sesudah pemasangan kapasitor bank.

Secara keseluruhan kondisi sistem menjadi lebih baik. Hal ini dapat dilihat dari tegangan terendahnya meningkat dari 0,9487 menjadi 0,9522 yaitu meningkat sebesar 0,35% . Selain itu total rugi daya aktif juga menurun sebesar 0,0226 MW dan total rugi daya reaktif menurun sebesar 0,0281 MVAR yaitu sebesar 1,02 % setelah pemasangan kapasitor bank. Faktor daya tiap bus beban juga meningkat dengan besar faktor daya minimum adalah sebesar 0,89. Sehingga, mengakibatkan menurunnya biaya energi yang ditanggung oleh PT.PJB Pembangkitan Indramayu untuk auxiliary load , dan akan diperoleh penghematan sebesar \$12.952,1681 dalam kurun waktu 5 tahun.

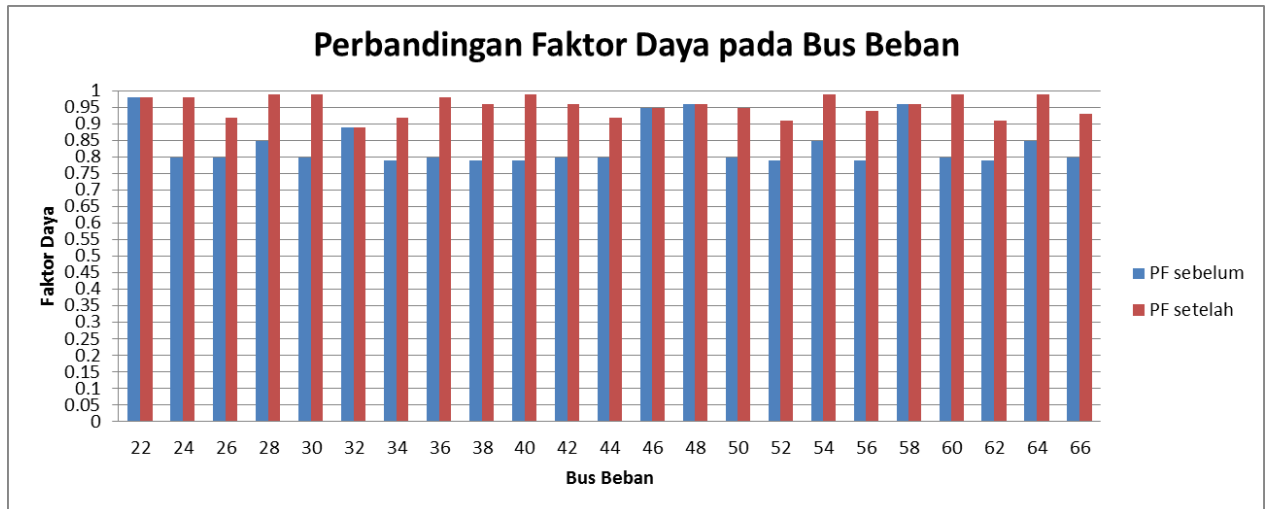
Tabel 7. Perbandingan kondisi sebelum dan sesudah penempatan

Tegangan Minimum (pu)	0,9487	0,9504
Rugi Daya Aktif (MW)	20,7946	20,7721
Rugi Daya Reaktif (MVAR)	85,4292	85,4009
Rugi Daya Nyata (MVA)	87,8965	87,88
Biaya Rugi Energi (\$)	54.698.883,4	54.635.246,9
Penurunan Biaya Energi (\$)	-	59.252,1681
Total Biaya Pemasangan Kapasitor Bank (\$)	-	10.800
Penghematan (\$)	-	12.952,168

Tabel 8. Perbandingan sebelum dan sesudah penempatan

DESKRIPSI	SEBELUM	SESUDAH
Lokasi Kapasitor Bank (no bus)	-	24,26,28,30,34,36,38, 40,42,44,50,52,54,56, 60,62,66
Total Kapasitas Kapasitor Bank (MVAR)	-	1,06

Berdasarkan table 7 dan 8. dapat diketahui bahwa dengan pemasangan kapasitor bank pada bus 26, 28, 30, 34, 44, 52, 54, 56, 62 dan 66 sebesar 20 kVAR, bus 38 sebesar 60 kVAR, bus 40 dan 50 sebesar 80 kVAR, bus 24 sebesar 100 Kvar, bus 56 dan 60 sebesar 120 kVAR, bus 42 sebesar 180 kVAR, dan bus 36 sebesar 320 kVAR.



Gambar 3. Perbandingan faktor daya sebelum dan sesudah penempatan kapasitor bank

Berdasarkan gambar 3 terlihat adanya perbaikan terhadap sistem, dimana faktor daya pada tiap bus beban setelah dipasang kapasitor bank sudah melewati batas minimal nilai faktor daya yang ditetapkan yaitu 0,85. Kenaikan Kenaikan profil faktor daya sangat signifikan terjadi pada

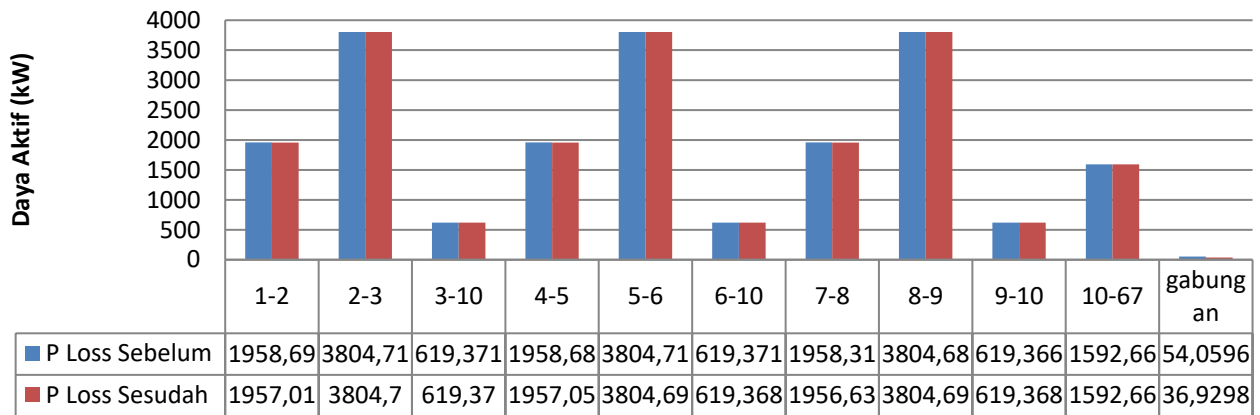
bus 24,26,28,30,34,36,38,40,42,44,50,52,54,60,62,64 dan 56 ini dikarenakan kapasitor bank dipasang paralel pada bus-bus tersebut. Sesuai dengan teori, bahwa pemasangan

kapasitor shunt pada beban lagging mengakibatkan daya reaktif menurun dan meningkatkan faktor daya. Setelah pemasangan kapasitor bank, kenaikan faktor daya terbesar ada pada bus 60 yaitu dari 0,8 menjadi 0,99. Besarnya

kenaikan ini dipengaruhi oleh banyaknya kapasitor yang dipasang hasil optimisasi pada bus tersebut yaitu 6 kapasitor bank dengan rating 120 kVAR. Program FPA menganggap bus 60 perlu diberi 6 kapasitor bank dikarenakan beban pada bus tersebut banyak mengkonsumsi daya reaktif yaitu sebesar 129 kVAR.

Bus 22, 32, 46, 48, 54, dan 58 mempunyai faktor daya yang tidak berubah, ini dikarenakan pada bus – bus tersebut tidak ditempatkan kapasitor bank dikarenakan program FPA menganggap faktor daya pada bus – bus tersebut sudah bagus dan memenuhi nilai standar yang diinginkan.

Perbandingan rugi daya aktif tiap saluran



Gambar 4. Perbandingan P loss sebelum dan sesudah penempatan kapasitor bank

Berdasarkan gambar 4 diatas merupakan data rugi daya aktif tiap-tiap saluran pada jaringan auxiliary load PT.PJB Pembangkitan Indramayu 3x330 MW. Pada kondisi nyata di lapangan terdapat 80 saluran yang tersebar di seluruh jaringan, namun karena banyaknya jumlah saluran penulis menggabungkan nilai losses antara saluran-saluran yang mempunyai nilai sangat kecil agar mudah diamati ketika dituangkan ke dalam grafik perbandingan.

Seperti telah dijelaskan pada sub bab sebelumnya bahwa setelah pemasangan kapasitor bank rugi daya aktif pada saluran berkurang sebesar 22,13 kW. Data awal P loss total adalah sebesar 20.7946 MW turun menjadi 20.772 MW. Pada gambar diatas terlihat sekilas tidak ada perbedaan grafik perbandingan antara data P loss awal dengan data P loss setelah pemasangan kapasitor.

4. Kesimpulan

Dari pembahasan tugas akhir ini yaitu mengenai penempatan kapasitor bank pada jaringan auxiliary load PT.PJB Pembangkitan Indramayu 3x330 MW, dapat menentukan ukuran kapasitor bank 1060 kVAR dan penempatan optimal bus 26, 28, 30, 34, 44, 52, 54, 56, 62, 64 dan 66 sebesar 20 kVAR, bus 40 sebesar 20 kVAR, bus 38 sebesar 60 kVAR, bus 24 dan bus 50 sebesar 100 Kvar, bus 42 sebesar 120 kVAR, dan bus 36 sebesar 320 kVAR. Biaya pembelian minimum kapasitor bank didapatkan 10.600 \$, biaya pemasangan minimum kapasitor bank didapatkan 10.800 \$, dan biaya operasional minimum kapasitor bank tiap tahunnya didapatkan 5.300 \$.

Total rugi daya aktif menurun sebesar sebesar 22,6 kW dan rugi daya reaktif menurun sebesar 28,1 kVAR

sehingga didapatkan penghematan sebesar \$12.952,1681 dalam kurun waktu 5 tahun .

REFERENSI

- [1]. Data beban pemakaian sendiri tahun 2016 PT.PJB Pembangkitan Indramayu, Sukra, Indramayu, Jawa Barat.
- [2]. Xin She Yang. 2012. "Flower Pollination Algorithm for Global Optimization". Cambridge University.
- [3]. Willian D. Stevenson, Jr. 1996. "Analisa Sistem Tenaga Listrik ". Erlangga. Bandung.
- [4]. Saadat, Hadi. 1999. "Power System Analysis". Mc Graw Hill
- [5]. Erviana, Mira. "Optimasi Penempatan dan Kapasitas Kapasitor Bank Pada Sistem Distribusi Untuk Mereduksi Rugi Daya Menggunakan Particle Swarm Optimization", Universitas Diponegoro, Semarang, 2012.
- [6]. Fahnani, Gunara Fery. "Simulasi Optimasi Daya Reaktif dan Tegangan Pada Sistem JAMALI 500kV Menggunakan Metode Particle Swarm Optimization", Universitas Diponegoro. Semarang. 2011
- [7]. Gampa, Srinivasa Rao. 2015 "Optimum Placement of Shunt Capacitors in a Radial Distribution System for Substation Power Factor Improvement Using Fuzzy GA Method". India
- [8]. Lee, Chung-See.2014 "Capacitor placement of distribution systems using PSO approaches". Taiwan