Jurnal J-Innovation Vol. 7, No. 2, Desember 2018
ISSN : 2338-2082

OPTIMASI PENEMPATAN KAPASITOR PADA PENYULANG KOTA CALANG DENGAN METODE MODIFIED BACKWARD-FORWARD SWEEP

Zakwansyah[1], Ira Devi Sara[2], Rakhmad Syafutra Lubis[3], Budi Amri[4]
[1]Mahasiswa, Program Studi Magister Teknik Eletro, Unsyiah, Banda Aceh, 23111
[,2,3]Dosen,Program Studi Magister Teknik Elektro Unsyiah, , Banda Aceh, 23111
[4]Teknik Elektronika Industri Politeknik Aceh
Jl. Politeknik Aceh, Pango Raya, Banda Aceh 23119
[1] zakwan77@gmail.com, [2] ira.sara@gmail.com,[3] rakhmadslubis@gmail.com

ABSTRACT

This study presents capacitor installation to reduced losses line, moreover improve voltage profile and power factor improvement. Capacitor optimization installed using modified backward forward sweep with the result that installation point and capacity appropriate. The modified backward-forward sweep have been tested on 15 BUS Kota Calang 20 kV feeder distribution, Aceh Barat. Initial simulation of feeder was result 0,85 kW line losses with 19,9753 minimum voltage. After capacitor installation on BUS 4, BUS 6, BUS 8 and BUS 13, the minimum losses line is reduced to 0,66 kW.

Keywords: *losses line, voltage drop, capacitor, modified backward-forward sweep.*

ABSTRAK

Penelitian ini membahas tentang pemasangan kapasitor untuk mengurangi rugi-rugi saluran pada sistem distribusi, pemasangan kapasitor juga akan maningkatkan profil tegangandan perbaikan faktor daya. Metode yang digunakan yaitu *modifiedbackward forward sweep (BFS).M*odifikasi dilakukan pada algoritma dasar *backward forward sweep (BFS)* untuk mendapatkan letak dan kapasitas kapasitor yang optimal.Modifikasi algoritma ini telah diuji pada penyulang Kota Calang PT. PLN Meulaboh Aceh Barat yang mempunyai 15 buah BUS dengan tegangan 20 kV. Hasil simulasi awal penyulang Kota Calang memiliki rugi-rugi di saluran sebesar 0,85 kW dengan tegangan minimum 19.9753 kV atau 0,998765 pu. Setelah pemasangan kapasitor didapatkan rugi-rugi daya yang optimal di saluran menjadi 0,66 kW dengan pemasangan kapasitor sebanyak 4 buah kapasitor di BUS 4, BUS 6, BUS 8 dan BUS 13.

Kata Kunci: Rugi-rugi saluran, Susut Tegangan, Kapasitor, *ModifiedBackward/Forward Sweep*

1. PENDAHULUAN

Sistem distribusi merupakan bagian penyaluran daya yang penting karena sistem distribusi melayani beban secara langsung. Kualitas daya pada sistem distribusi tetap terjaga. Kualitas daya yang buruk disebabkan oleh faktor daya yang menurun, susut tegangan, dan rugi jaringan [1]. Hal yang umum dilakukan untuk mengatasi rugi-rugi dan susut tegangan di saluran adalah dengan menambahkan kapasitas trafo distribusi, mensinkronkan sistem distribusi dengan *distributed generated (DG).*

Selain metode diatas rugi-rugi saluran dan mengurangi susut tegangan pada saluran juga bisa dilakukan dengan pemasangan kapasitor secara paralel, letak pemasangan yang tepat serta kapasitas kapasitor berdasarkan faktor daya saluran. Kapasitor merupakan komponen kompensasi daya reaktif induktif sehingga bisa mengurangi suplai arus dari sumber dan mengurangi susut tegangan di saluran, mengurangi rugi-

rugi saluran dan memperbaiki faktor daya beban. Kebutuhan daya reaktif bisa didapatkan mudah dengan melalui pemasangan kapasitor [2]. Penelitian ini mengembangkan persamaan konvensional *(BFS)* sehingga didapatkan letak penempatan kapasitor berdasarkan rugi-rugi saluran terkecil [3].

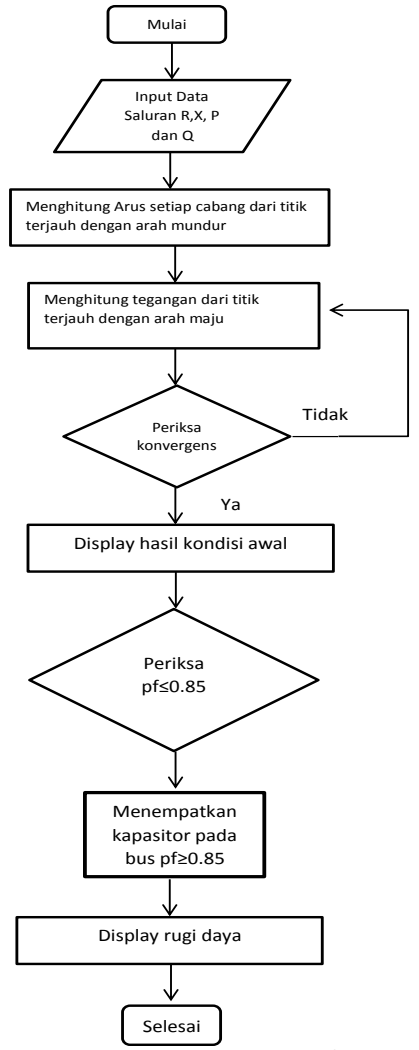
Beberapa algoritma dasar yang digunakan untuk mengetahui aliran daya, pernah dilakukan modifikasi untuk tujuan tertentu. *Modified BFS* telah dilakukan pada penelitian sebelumnya untuk penempatan *distributed generated (DG)* denganmengembangkan suatu persamaan yang dikombinasi dengan konvensional *BFS*[3]. Modifikasi algoritma dilakukan pada algoritma *Newton Raphson* dalam menentukan aliran *daya microgrid system.* Modifikasi konvensional sistem karena metode tersebut hanya bisa diterapkan pada sistem yang besar dengan tegangan dan frekuensi yang dijaga konstant [6].

.

II. METODE PENELITIAN

Studi aliran daya bertujuan untuk mengetahui tegangan setiap bus, aliran arus dan daya pada sistem distribusi maupun transmisi umumnya dilakukan dengan metode *gauss seidel*, n*ewton raphson,dan fast decoupled*, ketiga metode tersebut mempunyai kekurang bila diterapkan pada sistem distribusi radial yang mempunyai perbandingan nilai R/X tinggi, analisa aliran daya untuk sistim distribusi yang dilakukan pada penelitian ini menggunakan metode *modified forward backward sweep* dimana analisa aliran daya untuk sistem distribusi akan terselesaikan tanpa banyak perhitungan dan efisien pada setiap iterasi[8].

Metode penelitian dilakukan dengan analisa aliran daya pada penyulang yang akan dilakukan pemasangan kapasitor untuk menaikkan profil tegangan dan mengurangi rugi saluran serta perbaikan faktor daya beban. Simulasi awal dilakukan untuk mengetahui susut tegangan, rugi-rugi daya saluran dan faktor daya beban. Untuk mengetahui aliran daya saluran distribusi digunakan metode *backward forward sweep.* Pada metode ini akan dibentuk persamaan aliran daya dengan penyusunan impedansi di saluran distribusi dalam bentuk matriks *Bus Injection to Branch Current* (BIBC) dan matrik *Branch Current to Branch Voltage* (BIBV), matriks tersebut digunakan untuk mengetahui susut tegangan pada saluran distribusi. Dengan modifikasi algoritma dasar, yaitu menambahkan formula untuk mengetahui besar daya kapasitor berdasarkan faktor daya beban, penambahan algoritma untuk pengecekan rugi-rugi daya saluran terkecil apabila kapasitor dipasang pada BUS tertentu. Diagram alir MBFS adalah sebagai berikut,



Gambar1. Diagram Alir Aliran Daya *Modified BFS*

1. Analisa Aliran Daya

Metode *BFS* pada analisa aliran daya system distribusi tipe radial menggunakan hukum *Kirchchof* tentang arus dan hokum *Kirchchoff* tentang tegangan untuk menghitung arus di saluran dan tegangan setiap bus. Matriks admitansi tidak digunakan seperti pada perhitungan aliran daya system transmisi tetapi pada system distribusi menggunakan matriks BIBC (*Bus Injection to Branch Current*) dan BIBV (*Bus Injection to Branch Voltage*) untuk membentuk persamaan aliran daya.

Langkah awal dimulai dengan ***backward sweep***yaitu menghitung besar arus yang mengalir di saluran dari bus awal sampai bus akhir, tegangan di setiap titik bus disumsikan bernilai sama dengan bus awal atau sumber utama. Arus beban ditentukan dengan persamaan sebagai berikut [12],[25] :

$$I_{ldi} = \left[\frac{P_i + jQ_i}{V_i}\right] \quad (1)$$

dimana,

I_{ldi} = Arus beban pada titik i
P_i = Daya aktif beban titik i
jQ_i = Daya Reaktif beban titik i
V_i = Tegangan pada titik i

Arus yang telah diketahui mengalir ke beban merupakan jumlah arus yang ada pada saluran.

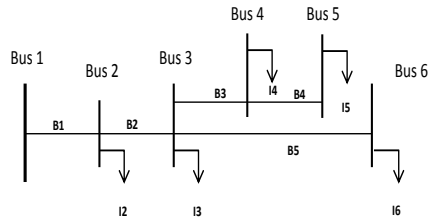
Forward Sweep adalah menghitung susut tegangan pada saluran, arus telah diketahui pada *Backward Sweep* dan impedansi saluran. Persamaan tegangan pada setiap BUS adalah :

$$V_i = V_1 - \Delta V$$
$$V_i = V_1 - (Z_i \times I_{li}) \quad (2)$$

dimana,

Vi = Tegangan pada bus *i*
V_i = Tegangan sebelum *Vi*
ΔV = Susut tegangan pada saluran *i*

Contoh system distribusi radial adalah sebagai berikut,



Gambar2. Sistemdistribusi radial 6 bus

Persamaan arus pada saluran distribusi adalah sebagai berikut[4],[5],

$$B_5 = I_6 \quad (3)$$
$$B_4 = I_5 \quad (4)$$
$$B_3 = I_4 + I_5 \quad (5)$$
$$B_2 = I_3 + I_4 + I_5 + I_6 \quad (6)$$
$$B_1 = I_2 + I_3 + I_4 + I_{5+}I_6 \quad (7)$$

Persamaan arus diatas yang dihasilkan dari 6 bus pada saluran distribusi radial disusun kembali dalam bentuk matrik,

$$\begin{vmatrix} B_1 \\ B_2 \\ B_3 \\ B_4 \\ B_5 \end{vmatrix} = \begin{vmatrix} 1 & 1 & 1 & 1 & 1 \\ 0 & 1 & 1 & 1 & 1 \\ 0 & 0 & 1 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \end{vmatrix} \begin{vmatrix} I_2 \\ I_3 \\ I_4 \\ I_5 \\ I_6 \end{vmatrix}$$

Angka 1 menyatakan bahwa adanya aliran arus pada saluran, sedangkan angka 0 tidak ada aliran arus pada saluran tersebut, misalnya pada saluran B_5 hanya mengalir arus I_6. Matrik BIBC tersebut memenuhi hokum *Kirchoff* yang menginjeksikan arus I terhadap saluran B. persamaan matrik tersebut dituliskan sebagai matrik BIBC adalah [4],[5] :

$$[B] = [BIBC][I] \quad (8)$$

Untuk mengetahui drop tegangan yaitu menggunakan persamaan sebagai berikut [4],[5]:

$$V_2 = V_1 - B_1.Z_{12} \quad (9)$$
$$V_3 = V_1 - B_1.Z_{12} - B_2.Z_{23} \quad (10)$$

$$V_4 = V_1 - B_1.Z_{12} - B_2.Z_{23}.B_3.Z_{34} \quad (11)$$

$$V_5 = V_1 - B_1.Z_{12} - B_2.Z_{23} - B_3.Z_{34} - B_4.Z_{45} \quad (12)$$

$$V_6 = V_1 - B_1.Z_{12} - B_2.Z_{23} - B_5.Z_{36} \quad (13)$$

Maka susut tegangan pada saluran bus 1 ke bus 6 adalah

$$V_2 - V_1 = B_1.Z_{12} \quad (14)$$

$$V_3 - V_1 = B_1.Z_{12} + B_2.Z_{23} \quad (15)$$

$$V_4 - V_1 = B_1.Z_{12} + B_2.Z_{23}.B_3.Z_{34} \quad (16)$$

$$V_5 - V_1 = B_1.Z_{12} + B_2.Z_{23} - B_3.Z_{34} - B_4.Z_{45} \quad (17)$$

$$V_6 - V_1 = B_1.Z_{12} + B_2.Z_{23} + B_5.Z_{36} \quad (18)$$

Persamaan tersebut kemudian dibentuk kedalam bentuk matrik BCBV *(Branch Current to Branch Voltage*),(4), (5) :

$$[\Delta V] = [BCBV][B], \quad (19)$$

Matriks perubahan tegangan adalah (1),(2) :

$$[\Delta V] = [BIBC][BCBV][I] \quad (20)$$

$$[\Delta V] = [DLF][I] \quad (21)$$

2. Kapasitor Bank

Pemasangan kapasitor di saluran distribusi dilakukan berdasarkan nilai faktor daya beban, daya reaktif yang didapat dari kapasitor berdasarkan nilai daya reaktif awal terhadap nilai daya reaktif baru. Daya reaktif yang diperlukan pada kapasitor adalah [5]:

$$Q_C = P(\tan\phi 1 - \tan\phi 2) \quad (22)$$

dimana,

Q = kVAr kapasitor yang diperlukan
P = daya aktif
cosϕ1 = faktor daya awal
cosϕ2 = faktor daya yang akan diperbaiki

Sifat kapasitor bisa mensuplai daya reaktif pada saat dipasang secara paralel dan akan mengurangi reaktansi saluran pada saat dipasang secara seri. Apabila kapasitor shunt dipasang pada sebuah beban motor 500-hp, 50hz, 380 V yang terhubung secara bintang, faktor daya awal motor tersebut adalah 0.75. Motor tersebut akan diperbaiki faktor daya menjadi 0.98, maka daya reaktif yang diperlukan adalah :

$$P = \frac{500hp * (0.757kW/hp)}{0.88}$$
$$P = 423.69kw$$

maka,

$$Q_c = P(tg\theta_1 - tg\theta_2)$$
$$Q_c = 423.69(tg41.41 - tg11.48)$$
$$Q_c = 287.62 \text{ kvar}$$

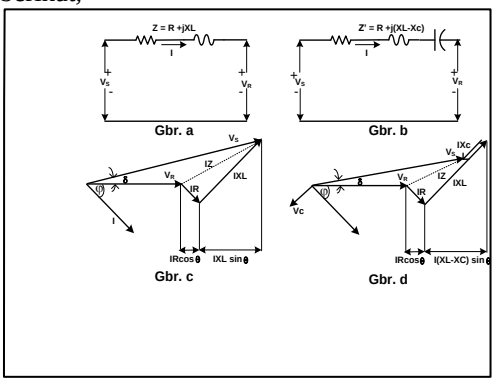
Nilai reaktansi untuk setiap kapasitor adalah

$$X_C = \frac{V_L^2}{Q_C}$$
$$X_C = \frac{380^2}{287620}$$
$$X_C = 2.56 \text{ ohm}$$

Besar kapasitor yang dibutuhkan adalah

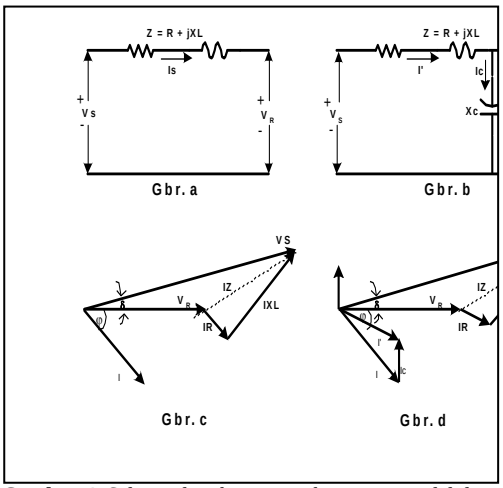
$$C = \frac{1}{2 \times \pi f X_C}$$
$$C = \frac{1}{2 \times 3.14 \times 50 \times 2.56}$$
$$C = 1.24 \text{ µf}$$

Pengaruh pemasangan kapasitor mempunyai perbedaan apabila pemasangan secara seri atau paralel, apabila kapasitor dipasang secara seri pada saluran, maka nilai reaktansi kapasitansi akan berselisih dengan nilai reaktansi induktif saluran, secara vektor diagram dapat dilihat pada Gambar 3 sebagai berikut,



Gambar 3. Saluran distribusi tanpa kapasitor seri dan dengan kapasitor seri

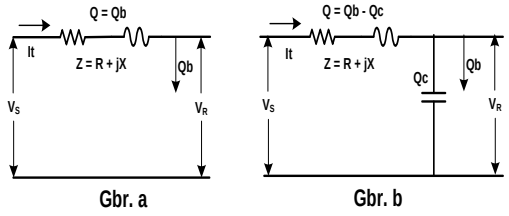
Impedansi pada saluran sudah berkurang atau dikompensasi oleh kapasitor sehingga susut tegangan saluran akan berkurang seperti terlihat pada Gambar 2d. Sedangkan pemasangan kapasitor secara paralel, seperti pada gambar 4, kapasitor akan mensuplay arus ke beban.



Gambar 4. Saluran distribusi tanpa kapasitor paralel dan dengan kapasitor paralel

Seperti pada Gambar 4 kapasitor yang dipasang secara paralel menyebabkan susut tegangan di saluran berkurang akibat berkurangnya arus pasokan dari sumber. Pemasangan kapasitor secara paralel pada saluran juga menyebabkan rugi-rugi di saluran berkurang dengan pemilihan letak kapasitor yang tepat.

Pengaruh pemasangan kapasitor di saluran distribusi akan mengurangi daya reaktif saluran, saluran distribusi mempunyai impedansi seperti pada gambar 5.

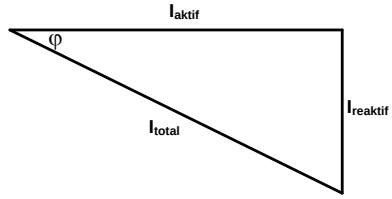


Gambar 5. Pengaruh kapasitor terhadap rugi-rugi saluran

Pada gambar 5. b menjelaskan bagaimana daya reaktif yang dibutuhkan oleh beban (Qb) telah dikompensasi oleh daya reaktif kapasitor (Qc), sehingga daya reaktif saluran (Q) berkurang. Persamaan daya reaktif pada saluran adalah [9], [10], :

$$Q = V \times I_r \times sin\emptyset \qquad (23)$$

Komponen arus aktif dan reaktif dapat dilihat pada gambar segitiga berikut [10],



Gambar 6. Komponen arus pada beban induktif

Total arus pada saluran adalah

$$I_t = \sqrt{\left(I_{aktif}\right)^2 + \left(I_{reaktif}\right)^2} \qquad (24)$$

Rugi-rugi daya di saluran didapatkan berdasarkan persamaan 2.1 sebelumnya adalah

$$P_{loss} = {I_t}^2 \times R \qquad (25)$$

Berkurangnya arus reaktif di saluran menyebabkan berkurangnya jumlah arus total, sehingga rugi-rugi di saluran berkurang karena pemasangan kapasitor.

III. HASIL DAN PEMBAHASAN

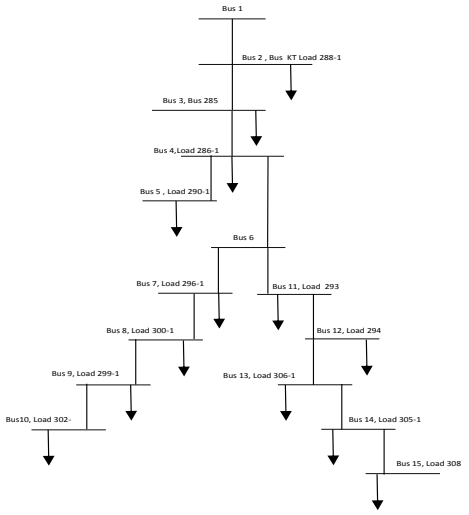
SIMULASI DAN DATA AWAL

Simulasi dilakukan dengan menggunakan Matlab R215a, berdasarkan struktur sistem distribusi radial Penyulang Kota Calang akan dibentuk matriks BIBC dan matriks BIBV. Pembentukan matriks BIBC adalah untuk menentukan hubungan antara injeksi arus bus dengan arus cabang sedangkan pembentukan matriks BIBV adalah untuk menentukan hubungan arus cabang dengan tegangan bus.

1. Distribusi Penyulang Kota Calang

Sistim distribusi penyulang Kota Calang adalah pada gambar 6, Saluran distribusi penyulang 20 kV Kota Calang PT. PLN (Persero) area Meulaboh mempunyai 15 buah. Saluran yang panjang pada penyulang Kota Calang adalah antara BUS7 dengan 8 sepanjang 1860 m, dan antara BUS 13 dengan BUS 14 sepanjang 1670 m. Saluran terpendek adalah BUS 3 dengan BUS 4 yaitu

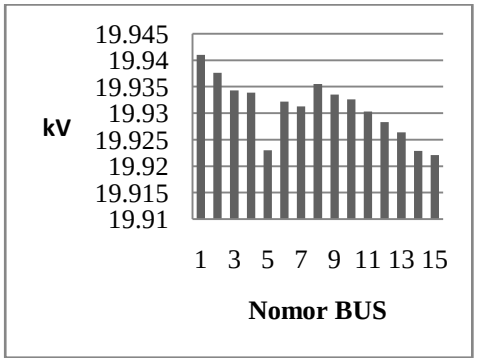
20m, kemudian BUS 24 dengan BUS 26. Kota Calang merupakan salah satu penyulang distribusi yang terletak di GH Calang, dimana GH Calang merupakan bagian dari sistem distribusi Teunom – Calang – Lamno yang terletak di Meulaboh Aceh Barat.



Gambar 5. Sistem Distribusi Kota Calang

2. Hasil Analisa Aliran Daya Sebelum Pemasangan Kapasitor

Dengan menggunakan tegangan dasar 20 kV daya100MVA dan akurasi 0.00001 tegangan hasil analisa aliran daya penyulang Kota Calang adalah sebagai berikut



Gambar 6. Profil Tegangan Penyulang Kota Calang Sebelum Pemasangan Kapasitor

Susut tegangan minimum pada keadaan awal adalah 19,9753 volt.Sebelum dilakukan kompensasi dengan kapasitor, rugi rugi di saluran penyulang Kota Calangadalah sebesar 0.851770 kW. Suplaiarus dari sumber akan besar untuk memenuhi kebutuhan daya di saluran dan kebutuhan daya beban, arus dari BUS sumber adalah 41.317A. Rugi-rugi saluran penyulang Kota Calang sebelum pemasangan kapasitor dapat dilihat pada Tabel 1 berikut ini.

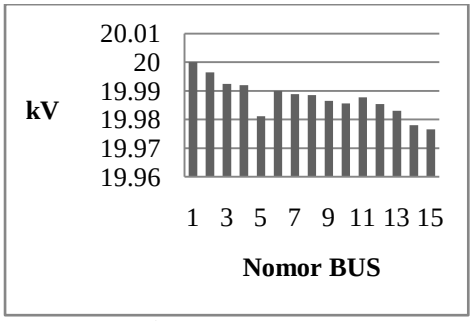
Tabel 1. Data rugi-rugi saluran dan faktor daya beban penyulang Kota Calang

From Bus	To Bus	Arus		kW	kvar	Cos φ
		Amp	Deg			
1	2	41,32	-39,01	0,26	0,26	0,78
2	3	34,14	-40,76	0,05	0,05	0,76
3	4	32,71	-41,21	0,03	0,03	0,75
4	5	18,22	-31,78	0,25	0,25	0,85
4	6	13,6	-31,8	0,06	0,06	0,85
6	7	5,78	-31,8	0,04	0,04	0,85
6	11	8,15	-31,8	0,03	0,03	0,85
7	8	4,33	-53,42	0,04	0,04	0,6
8	9	2,89	-31,79	0,01	0,01	0,85
9	10	1,45	-57,16	0	0	0,54
11	12	6,77	-51,92	0,02	0,02	0,62
12	13	5,47	-44,09	0,02	0,02	0,72
13	14	4,34	-31,8	0,04	0,04	0,85
14	15	2,89	-31,8	0	0,01	0,85
Total Losses				0,85		

ANALISA SESUDAH PEMASANGAN KAPASITOR

Dengan melakukan modifikasi pada algoritma *Forward Backward Sweep* profil tegangan setiap BUS meningkat setelah pemasangan kapasitor seperti pada Gambar 7 berikut,

Data rugi-rugi di saluran, berkurangnya arus serta perbaikan faktor daya setelah pemasangan kapasitor dapat dilihat pada tabel 2. Rata-rata faktor daya yang sudah diperbaiki adalah diatas 0,85.



Gambar 7. Profil Tegangan Sesudah Kompensasi dengan Kapasitor

Tabel 2. Data Saluran PenyulangKota Calang Setelah Pemasangan Kapasitor

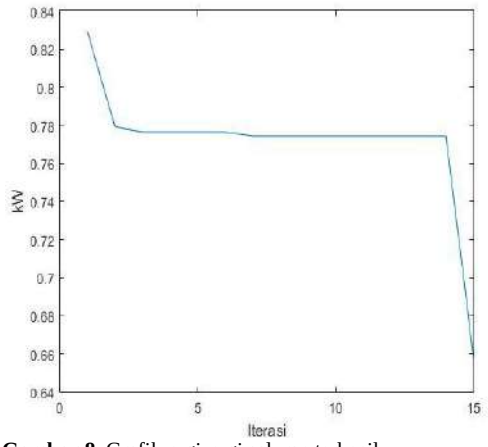
Bus	kV	Saluran		Arus (Amp)	kW	Cos ϕ
		Dari bus	Ke bus			
1	20	1	2	34,098	0,1	0,95
2	19,9974	2	3	27,129	0,18	0,97
3	19,9936	3	4	25,755	0,01	0,97
4	19,9933	4	5	18,217	0,25	0,85
5	19,9824	4	6	9,336	0,02	1
6	19,9923	6	7	5,025	0,02	0,98
7	19,9912	6	11	7,039	0,01	0,63
8	19,9908	7	8	4,111	0,02	0,9
9	19,9888	8	9	2,888	0,01	0,85
10	19,9879	9	10	1,444	0	0,85
11	19,9904	11	12	5,752	0,01	0,73
12	19,9885	12	13	4,623	0,01	0,85
13	19,9866	13	14	4.334	0,02	0,85
14	19,9816	14	15	3	0	0,85
15	19,9801	Total			0,66	0,85

Daya aktif berkurang menjadi 0,66 kW dengan peletakan kapasitor dan kapasitas kapasitor dapat dilihat pada tabel 3 berikut ini

Tabel 3. Letak dan Kapasitas Kapasitor

BUS	Kapasitas (kVAR)
4	189,72
6	142,40
8	142,31
13	47,45

Rugi-rugi saluran yang dihasilkan dengan menggunakan metode *modiffied forward backward sweep* adalah seperti pada gambar 8.



Gambar 8. Grafik rugi-rugi saluran terkecil

Iterasi yang dilakukan sebanyak 150 dilakukan dengan algoritma *modified backward forward sweep* bisa didapatkan besar daya reaktif kapasitor untuk mengurangi rugi di saluran dan memperbaiki profil tegangan berdasarkan batasan faktor daya yang diinginkan.

IV. KESIMPULAN

1. Kondisi awal sistem distribusi Kota Calangmempunyai faktor daya dibawah 0.85 pada beberapa BUS dan kondisi profil tegangan di semua BUS masih pada kondisi aman.
2. Dengan metode algoritma *modified backward forward sweep* dihasilkan sebanyak 4 titik pemasangan kapasitor.
3. Rugi-rugi saluran kondisi awal penyulang adalah 0,85 kW dan dapat dikurangi setelah pemasangan kapasitor sebesar 0,66 kW.

DAFTAR PUSTAKA

[1] Saadat, Hadi "*Power System Analysis*" McGraw-Hill Education

[2] Meysam, S., Sadegh, S., Zayandehroodi, H., Eslami, M., danKhajehzadeh, A., "*Capacitor Location and Size Determination to Reduce power Losses of Distribution Feeder by Firefly Algorithm*", International Journal of Scientific an Engineering Research, Vol. 5, Iss.9, hal 419-424, Sep. 2014