

KAJIAN PENEMPATAN KAPASITOR BANK MENGUNAKAN METODE GENETIK ALGORITMA PADA SOUTH BALAM FEEDER 1 PT CHEVRON PACIFIC INDONESIA

Akto Sello*, Edy Ervianto**, Dian Yayan Sukma**

*Alumni Teknik Elektro Universitas Riau **Jurusan Teknik Elektro Universitas Riau

Jurusan Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Riau, Kampus Binawidya Km 12,5 Simpang
Baru Panam, Pekanbaru 28293, Indonesia

Email: ees1_akto@yahoo.co.id

ABSTRACT

Reactor power losses in electric power networks can be compensated by capacitor bank. With a capacitor bank the voltage in the line keep in standard tolerance. In PT Chevron Pacific Indonesia, South Balam Feeder 1 with 13,8 kv radial distribution network and total load 4470 kVA is inductive motor of nod pump distributed at a number of dot with length 44.7 km. When The length of electric power networks longer, the problem is about size of capacitor and it's located to get the minimum power losses. This case study will give one of solution with Algorithm Genetic Methode using software ETAP 7.0 and Matlab 2008b. The mounting points on 16 Z 14, SoBalam#155, 16 Z 73, SoBalam#142 and Antara#7 with capacity 600 kVAr and then system of voltage $\geq 95\%$ over the nominal voltage as the result.

Keywords : power flow, genetic algorithms, reactive power compensation, power quality, capacitor bank.

1. PENDAHULUAN

PT Chevron Pacific Indonesia merupakan perusahaan yang bergerak di bidang minyak dan gas yang memiliki ladang minyak terbesar di Indonesia. Eksplorasi sumur minyak yang dilakukan menggunakan pompa angguk yang beroperasi 24 jam dalam sehari membutuhkan daya listrik yang kontinyu dengan kualitas yang baik.

South Balam feeder 1 merupakan jaringan distribusi radial primer 13,8 kV dengan total beban 4470 kVA yang terdistribusi pada beberapa titik dan panjang saluran sepanjang 44,7 km. Beban yang ada di South Balam feeder 1 adalah beban induktif yaitu motor penggerak pompa angguk. Semakin panjang saluran distribusi dan semakin banyak motor penggerak yang digunakan maka akan memperbesar daya reaktif induktif yang dapat mengakibatkan *drop* tegangan dan memperbesar rugi-rugi daya.

Untuk mengurangi daya reaktif induktif diperlukan sumber daya reaktif kapasitif, salah

satunya didapat dengan pemasangan kapasitor bank pada saluran distribusi primer. Pemasangan kapasitor bank tersebut menyebabkan arus yang mengalir pada penghantar menjadi lebih kecil, sehingga akan mengurangi besarnya rugi-rugi daya dan *drop* tegangan pada saluran. Dalam memasang kapasitor bank perlu dipilih ukuran dan tempat yang tepat agar penurunan rugi-rugi daya dan *drop* tegangan pada saluran dapat dimaksimalkan dan dengan biaya instalasi kapasitor bank yang rendah.

Genetik Algoritma adalah metode seleksi yang digunakan untuk menentukan titik yang terbaik dari pemasangan kapasitor bank. Diharapkan dengan penggunaan metode ini akan ditemukan titik terbaik dari pemasangan dengan proses yang lebih cepat daripada menggunakan perhitungan konvensional.

2. LANDASAN TEORI

2.1 Sistem Distribusi

Sistem distribusi tenaga listrik merupakan bagian dari sistem tenaga listrik yang menghubungkan energi listrik dari gardu induk bertegangan menengah ke beban. Fungsi utama sistem distribusi adalah menyalurkan tenaga listrik dari sumber daya ke beban. Sumber daya tersebut dapat berupa :

1. Pusat pembangkit listrik yang langsung berhubungan dengan jaringan distribusi; dan
2. Gardu induk, yaitu gardu yang disuplai melalui pembangkit listrik melalui jaringan transmisi dan sub transmisi. Salah satu fungsi dari gardu induk adalah mensuplai tenaga listrik ke beban yang terletak jauh dari pusat pembangkit tenaga listrik.

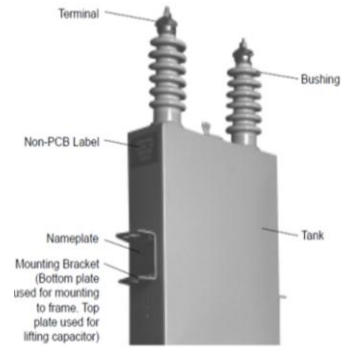
2.2 Penurunan Tegangan

Akibat adanya arus yang mengalir pada penyulang serta impedansi saluran maka akan timbul jatuh tegangan pada penyulang tersebut, dimana jatuh tegangan terjadi sepanjang saluran dan disisi beban. Jatuh tegangan yang paling besar terjadi pada saat beban puncak. Jatuh tegangan maksimum pada beban penuh yang diijinkan di beberapa titik pada jaringan distribusi berdasarkan SPLN 72 .1987 adalah (Tarsin, 2011):

1. SUTM = 5 % dari tegangan kerja pada sistem radial di atas tanah dan sistem simpul.
2. SKTM = 2 % dari tegangan kerja pada sistem spindle dan gugus.
3. Trafo distribusi = 3 % dari tegangan kerja.
4. Saluran tegangan rendah = 4 % dari tegangan kerja yang tergantung pada kepadatan beban.
5. Sambungan rumah = 1 % dari tegangan nominal.

2.3 Kapasitor Bank

Kapasitor merupakan 2 keping pelat yang paralel yang dipisahkan oleh suatu bahan dielektrik. Bahan dielektrik ini pun memiliki resistivitas, namun besarnya resistivitas ini dapat diabaikan bila kapasitor dianggap kapasitif murni.



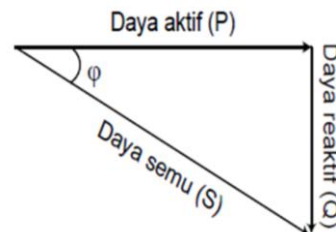
Gambar 2.1 EX-7 Cooper Power System Capacitor

(Sumber : Cooper Industries, 2002)

Kelemahan dari kapasitor adalah ia tidak bisa mengkompensasi kelebihan daya reaktif dari jaringan. Kapasitor hanya memiliki kemampuan untuk memberikan pasokan daya reaktif pada jaringan tapi tidak bisa menangani kelebihan daya reaktif dari jaringan. Kapasitor dapat menaikkan tegangan jaringan dengan cara memberikan arus yang ia miliki. Akan tetapi, kenaikan tegangan yang ia berikan sebanding dengan arus yang ia transfer. Artinya, tegangan yang dirasakan sistem adalah naik tidak tetap. Padahal, jaringan menuntut kestabilan (Tim PGT CPI, 2006).

2.4 Faktor Daya

Jumlah vektor dari daya reaktif (Q) dan daya aktif (P) biasa disebut dengan daya semu (S) seperti ditunjukkan pada Gambar 2.2 dibawah ini.



Gambar 2.2 Vektor diagram segitiga daya (Sumber : Tarsin, 2011)

Dari Gambar 2.2 daya semu = S, sehingga

$$S = \sqrt{P^2 + Q^2} \quad (1)$$

Dan diperoleh juga rumus untuk segitiga daya :

$$P = VI \cos \theta \quad (2)$$

$$Q = VI \sin \theta \quad (3)$$

$$S = VI \quad (4)$$

Perbandingan antara daya aktif dengan daya semu disebut faktor daya.

$$\cos \theta = \frac{P}{S} \quad (5)$$

Nilai faktor daya ($\cos \theta$) yang besar, membawa pengaruh baik pada jaringan distribusi. Makin besar daya reaktif induktif suatu beban, maka makin kecil pula faktor dayanya.

2.5 Koreksi Faktor Daya

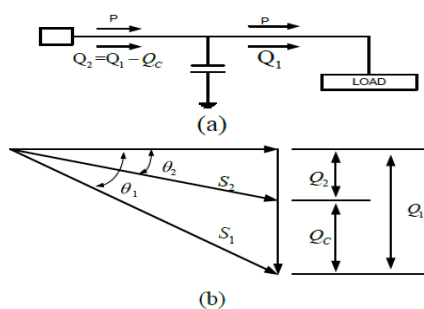
Dengan mengasumsikan beban disuplai dengan daya aktif (P), daya reaktif tertinggal (*lagging*) Q_1 , dan daya semu S_1 , maka faktor daya tertinggal

$$\cos \theta_1 = \frac{P}{S_1} = \frac{P}{\sqrt{P^2 + Q_1^2}} \quad (6)$$

ketika kapasitor Q_c dipasang pada beban, faktor daya dapat ditingkatkan dari $\cos \theta_1$ ke $\cos \theta_2$, dimana :

$$\cos \theta_2 = \frac{P}{S_2} = \frac{P}{Q_2} = \sqrt{P^2 + (Q_1 - Q_c)^2} \quad (7)$$

Dapat dilihat dari Gambar 2.3, daya total dan daya reaktif menurun dari S_1 menjadi S_2 dan dari Q_1 menjadi Q_2 . Sehingga dapat diketahui jatuh daya reaktif menyebabkan jatuh daya total.



Gambar 2.3 Ilustrasi koreksi faktor daya (Sumber : Tarsin, 2011)

Faktor daya beban induktif dapat diperbesar dengan memberikan kompensasi daya reaktif. Idealnya besar kompensasi daya reaktif adalah sebesar kebutuhan daya reaktif kapasitif sedemikian sehingga faktor daya

sama dengan 1. Dengan memperhatikan kapasitas kapasitor bank yang diperlukan untuk memperbaiki faktor daya beban induktif ke faktor daya yang diperlukan dapat dihitung dengan persamaan dibawah ini (Ketut, 2012).

$$Q_c = P \left(\sqrt{\frac{1}{pf_{orig}^2} - 1} - \sqrt{\frac{1}{pf_{new}^2} - 1} \right) \quad (8)$$

Dimana :

Q_c = kapasitaas kapasitor (kVAR)

P = Daya aktif (kW)

pf_{orig} = faktor daya semula

pf_{new} = faktor daya yang diinginkan

2.6 Rugi Pada Saluran Distribusi

Rugi – rugi daya listrik pada saluran distribusi dapat dikategorikan menjadi 2 (dua) bagian yaitu rugi-rugi daya aktif dan daya reaktif seperti persamaan di bawah ini (Tarsin, 2011).

$$S_{loss} = P_{loss} \pm jQ_{loss} \quad (9)$$

Dimana :

P_{loss} = Rugi-rugi daya aktif (Watt)

Q_{loss} = Rugi-rugi daya reaktif (VAR)

S_{loss} = Total rugi saluran (VA)

Rugi-rugi daya listrik tersebut diatas (VA) akan mempengaruhi tegangan kerja sistem dan besarnya rugi-rugi daya dinyatakan dengan:

$$P_{loss} = \sum_{i=1}^n |I_i|^2 r_i \quad (10)$$

$$Q_{loss} = \sum_{i=1}^n |I_i|^2 x_i \quad (11)$$

2.7 Konsep Dasar Metode Genetik Algoritma

Genetik Algoritma (GA) adalah suatu metode yang meniru mekanisme pada proses evolusi. Proses evolusi ini dilakukan pada sekumpulan kandidat solusi (*chromosome*) dengan mengikuti prinsip seleksi natural yang dikembangkan oleh Darwin. Berbeda dengan algoritma biasa dimana pencarian solusi hanya dimulai dengan satu solusi yang mungkin, GA melakukan pencarian sekaligus atas sejumlah kandidat solusi (*chromosome*) yang dikenal dengan istilah populasi (*population*).

Masing-masing *chromosome* pada GA terdiri dari sejumlah bilangan atau simbol yang merepresentasikan suatu solusi yang layak

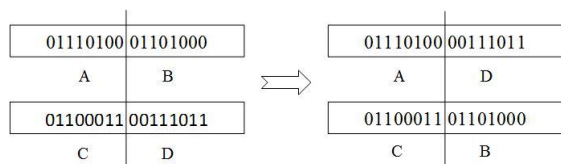
(feasible solution) dari persoalan. Selanjutnya, *chromosome* untuk generasi berikutnya diperoleh dengan melakukan operasi genetika (*Crossover* dan *Mutasi*). Operasi genetika ini dilakukan dengan tujuan untuk dapat menghasilkan sejumlah *chromosome* baru (*offspring*) yang memberikan solusi lebih baik. Setiap *chromosome* pada populasi dievaluasi dengan menghitung nilai *fitness* (*fitness value*). Salah satu *fitness value* yang biasa dipakai adalah dengan menghitung nilai fungsi tujuan (*objective value*). Dengan melakukan seleksi terhadap *chromosome* pada setiap generasi, diharapkan populasi *chromosome* pada generasi berikutnya akan mempunyai nilai *fitness* yang lebih baik. Proses pembentukan generasi baru dengan melakukan operasi genetika terhadap populasi *chromosome* dilakukan terpenuhi kriteria pemberhentian (*stopping condition*) (Tarsin, 2011).

Berikut suatu contoh untuk memahami konsep dasar Genetik Algoritma. Seleksi tahap awal untuk *chromosome* orang tua dilakukan secara random dimana susunan *chromosome* orang tua di susun seperti dalam Tabel 2.1.

Tabel 2.1 Data populasi awal
(Sumber : Tarsin,2011 “telah diolah kembali”)

Populasi (memulai proses random)	Chromosome	Fungsi Objektif
1110100011010000	C1	6,1238
0110001100111011	C2	0,3311
0101011110011110	C3	0,4719
0101000011101010	C4	5,3312

Selanjutnya adalah melakukan operasi *crossover* yang selanjutnya diamati perubahan *chromosome* pertama dan kedua seperti ditunjukkan pada Gambar 2.4 berikut dan dari Tabel 2.1 di atas dilakukan operasi *crossover* sebagai berikut:

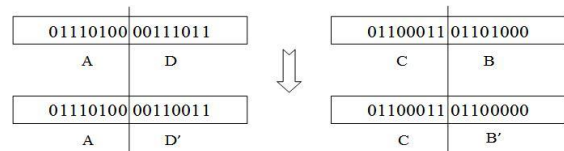


Gambar 2.4 Proses *crossover*
(Sumber : Tarsin,2011)

Langkah *crossover* :

1. *Chromosome* C1 terlebih dahulu digeser bitnya kekanan sebanyak 1 bit;
2. *Chromosome* C1 dan *chromosome* C2 di silangkan bitnya seperti Gambar 2.4.

Langkah selanjutnya adalah proses mutasi. *Chromosome* yang terbentuk akibat operasi *crossover* diproses lagi dengan menggunakan operasi mutasi yang ditunjukkan pada Gambar 2.5 berikut ini:



Gambar 2.5 Proses mutasi
(Sumber : Tarsin,2011)

Langkah mutasi :

1. Rubah salah satu bit pada D dan B, 1 menjadi 0 dan sebaliknya (hal ini tidak mutlak).

Langkah berikutnya adalah proses pembaruan *chromosome* baru untuk menggantikan *chromosome* lama, seperti pada Tabel 2.2 Dalam hal ini yang akan menjadi *chromosome* baru yaitu AB, AD', CB' dan C4

Tabel 2.2 Data populasi setelah proses *crossover* dan mutasi
(Sumber : Tarsin,2011 “telah diolah kembali”)

Populasi (memulai proses random)	Chromosome	Fungsi Objektif
0111010001101000	C5	6,1238
0111010000110011	C6	0,3311
0110001101100000	C7	0,4719
0101000011101010	C4	5,3312

Dari harga yang diperoleh dari Tabel 2.2, terlihat bahwa ada perbaikan dari harga fungsi objektif yang diperoleh. Jika harga-harga tersebut belum dapat diterima, maka dapat dilakukan proses operasi ulang *crossover* dan mutasi untuk mendapatkan keturunan berikutnya hingga harga yang diinginkan tercapai.

Hal mendasar yang harus diperhatikan dari proses *crossover* yaitu memilih *chromosome* yang bernilai *fitness* besar dengan yang bernilai kecil untuk dikawinkan. Sedangkan untuk melakukan proses mutasi bisa dilakukan

sesuai keinginan kita tetapi dalam prosesnya harus sama dari generasi ke-1 hingga generasi ke-n.

2.8 Fungsi Objektif Biaya Kapasitor Bank

Untuk menentukan biaya pembelian kapasitor bank diharapkan biayanya dibuat seminimal mungkin dan ada 4 (empat) yang perlu diperhatikan untuk pembelian kapasitor bank, yaitu:

1. Biaya instalasi kapasitor bank;
2. Biaya pembelian kapasitor bank;
3. Biaya operasi kapasitor bank (termasuk biaya perawatan dan biaya penyusutan); dan
4. Biaya rugi-rugi daya aktif.

Adapun Persamaan matematis untuk fungsi objektif biaya kapasitor bank, sebagai berikut :

$$Biaya_Min = \sum_{i=1}^{N_{bus}} (X_i C_{oi} + Q_{oi} C_{li} + C_{2i} T) + C_2 T_i \sum_{i=1}^{N_{load}} P_i^i \quad (12)$$

Dimana :

- N_{bus} = Nomor bus kandidat
- X_i = 0/1, 0 mengaktifkan tidak ada penempatan kapasitor bank pada bus i
- C_{oi} = Biaya pemasangan kapasitor bank/unit
- C_{li} = Harga kapasitor bank kVAr
- C_{2i} = Biaya perawatan kapasitor bank/tahun
- Q_{ci} = Kapasitas kapasitor bank (kVAr)
- T = Periode waktu perencanaan (thn)
- C_2 = Biaya rugi-rugi/kVA
- N_{load} = Level beban (Maksimum, Medium, dan rata-rata)
- T_i = Durasi beban pada level i (Jam)
- P_i^i = Total rugi-rugi sistem beban level i

3. METODE PENELITIAN

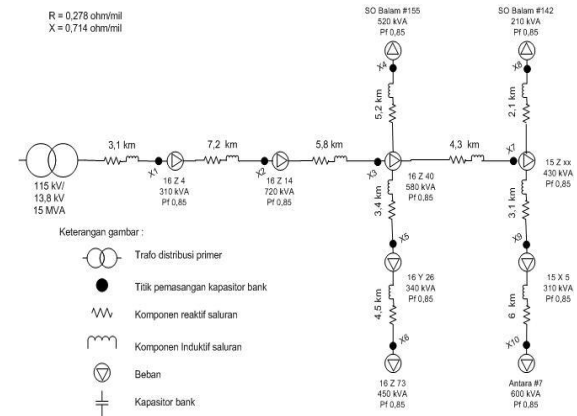
3.1 Data

Tabel 3.1 Data harga, biaya pemasangan, dan biaya perawatan kapasitor bank

Ukuran (kVAr)	Harga (\$)	Biaya Pemasangan (\$)	Biaya Perawatan/thn (\$)
1	10	1	1
300	3000	300	900
600	6000	600	1800

3.2 Pemodelan Sistem

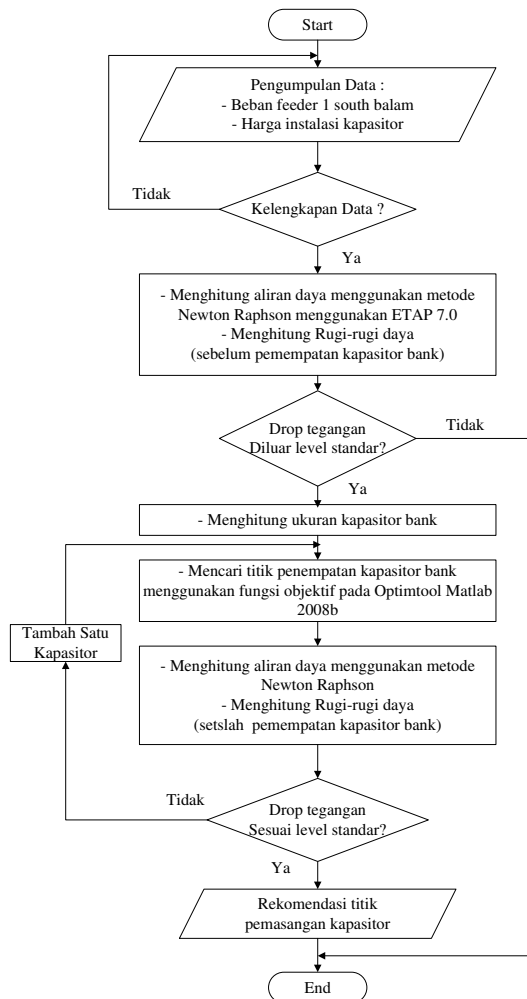
Pemodelan sistem distribusi radial 13,8 kV South Balam feeder 1 dimodelkan seperti Gambar 3.1 dibawah ini.



Gambar 3.1 Diagram satu garis South Balam feeder 1 PT CPI

3.3 Langkah Penelitian

Prosedur penelitian untuk menentukan ukuran dan tempat pemasangan kapasitor bank yang terbaik dalam mengurangi rugi-rugi daya dapat dilihat pada Gambar 3.2 dibawah ini.



Gambar 3.2 Diagram alir kajian penempatan kapasitor bank

3.4 Perancangan Software

Untuk menentukan titik pemasangan kapasitor bank digunakan Optmtool Matlab 2008b dan untuk mengetahui drop tegangan serta rugi-rugi daya sebelum dan setelah penempatan kapasitor bank digunakan ETAP 7.0.

4. HASIL DAN PEMBAHASAN

Dalam penelitian ini yang menentukan keberhasilan titik terbaik penempatan kapasitor bank saat drop tegangan dan rugi-rugi daya minimal.

Untuk memudahkan pengingatan maka titik-titik sebenarnya dilapangan diinialisasikan menjadi 16 Z 4 = X1, 16 Z 14 = X2, 16 Z 40 = X3, So Balam #155 = X4, 16 Y 26 = X5, 16 Z 73 = X6, 15 Z xx = X7, So Balam #142 = X8, 15 X 5 = X9, dan Antara #7 = X10.

4.1 Sebelum Penempatan Kapasitor Bank

Pemasangan kapasitor bank hanya akan dilakukan jika terdapat *drop* tegangan bus diluar level standar, dimana level standar tegangan antara 13,11 – 14,49 kV.

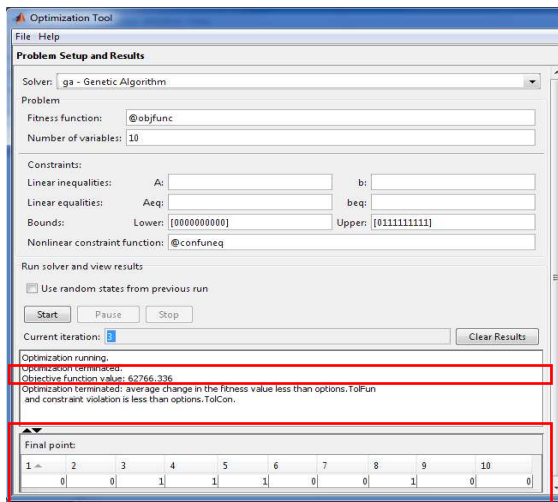
Tabel 4.1 Hasil aliran daya sebelum penempatan kapasitor bank pada konfigurasi kondisi beban puncak dengan Software ETAP 7.0

Bus	Tegangan (kV)		Daya Loss	
	kV nominal	kV hitung	P (kW)	Q (kVAr)
SoBalam	115,0	115,0	0,00	0,00
SoBalam#1	13,80	13,55	5,0	93,6
Bus X1	13,80	13,17	55,9	0,3
Bus X2	13,80	13,17	0,1	0,2
Bus X3	13,80	12,61	60,3	109,5
Bus X4	13,80	12,54	1,3	-1,2
Bus X5	13,80	12,54	1,9	1,2
Bus X6	13,80	12,49	8,9	13,9
Bus X7	13,80	12,43	0,8	-1,5
Bus X8	13,80	12,42	0,1	-1,2
Bus X9	13,80	12,35	2,2	2,1
Bus X10	13,80	12,25	1,8	-0,4

Drop tegangan terjadi di 8 titik dan total rugi daya aktif sebelum penempatan kapasitor bank adalah sebesar 138,4 kW dan total rugi daya semunya sebesar 319,2 kVAr.

4.2 Setelah Penempatan Kapasitor Bank

Untuk menghitung kapasitas kapasitor bank yang harus dipasang digunakan Persamaan (8), didapatkan ukuran sebesar 2163 kVAr. Kapasitor bank yang tersedia di PT CPI hanya ukuran 300 kVAr dan 600 kVAr, maka kapasitor akan dipasang 2400 kVAr pada 4 titik. Ini berarti kapasitas kapasitor bank dibulatkan keatas hingga dibatas kelipatan kapasitor yang tersedia di PT CPI.



Gambar 4.1 Pencarian titik penempatan kapasitor bank menggunakan Optimtool Matlab 2008b

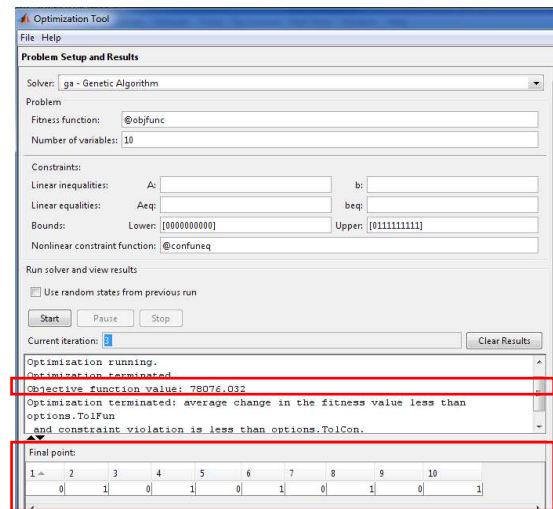
Didapatkan titik pemasangan pada X3, X4, X5 dan X8.

Tabel 4.2 Hasil aliran daya setelah penempatan kapasitor bank pada konfigurasi kondisi beban puncak dengan Software ETAP 7.0

Bus	Tegangan (kV)		Daya Loss	
	kV nominal	kV hitung	P (kW)	Q (kVAr)
SoBalam	115,00	115,00	0,00	0,00
SoBalam#1	13,80	13,71	2,90	54,7
Bus X1	13,80	13,51	32,6	59,1
Bus X2	13,80	13,51	0,1	0,1
Bus X3	13,80	13,30	33,4	58,4
Bus X4	13,80	13,30	1,0	-2,1
Bus X5	13,80	13,27	1,0	-0,6
Bus X6	13,80	13,21	6,0	8,0
Bus X7	13,80	13,17	0,9	-1,7
Bus X8	13,80	13,19	0,5	-0,7
Bus X9	13,80	13,09	2,5	2,3
Bus X10	13,80	12,99	2,1	-0,5

Drop tegangan masih ada di 2 titik dan total rugi daya aktif setelah penempatan kapasitor bank adalah sebesar 82,9 kW dan total rugi daya semunya sebesar 177,0 kVAr.

Pada Bus X9 dan X10, tegangan masih diluar level standar, maka kapasitas kapasitor bank dinaikkan menjadi 3000 kVAr dan dipasang pada 5 titik.



Gambar 4.2 Pencarian titik penempatan kapasitor bank menggunakan Optimtool Matlab 2008b setelah kapasitas kapasitor bank dinaikkan menjadi 3000 kVAr

Didapatkan titik pemasangan pada X2, X4, X6, X8 dan X10.

Tabel 4.3 Hasil aliran daya setelah penempatan dan kapasitas kapasitor bank dinaikkan pada konfigurasi kondisi beban puncak dengan Software ETAP 7.0

Bus	Tegangan (kV)		Daya Loss	
	kV nominal	kV hitung	P (kW)	Q (kVAr)
SoBalam	115,00	115,00	0,00	0,00
SoBalam#1	13,80	13,76	2,80	52,7
Bus X1	13,80	13,59	31,4	56,8
Bus X2	13,80	13,59	0,1	0,1
Bus X3	13,80	13,38	34,4	60,3
Bus X4	13,80	13,38	1,0	-2,2
Bus X5	13,80	13,36	1,1	-0,6
Bus X6	13,80	13,37	5,2	6,5
Bus X7	13,80	13,32	0,8	-1,9
Bus X8	13,80	13,34	0,5	-0,7
Bus X9	13,80	13,29	1,3	0,0
Bus X10	13,80	13,28	1,3	-2,2

Level tegangan sudah berada didalam level standar dan total rugi daya aktif setelah penempatan dan kapasitas kapasitor bank dinaikkan 79,8 kW dan total rugi daya semunya sebesar 168,8 kVAr.

Pengurangan rugi-rugi daya total sebelum dan setelah penempatan kapasitor bank yaitu

untuk total rugi daya aktif sebesar 55 kW dan untuk total daya reaktif sebesar 142,7 kVAr.

5. KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil analisa dan pembahasan sebelum dan sesudah penempatan kapasitor bank pada sistem distribusi radial 13,8 kV di South Balam *feeder* 1 PT CPI, maka kesimpulannya adalah sebagai berikut :

1. Berdasarkan hasil analisa aliran daya sebelum penempatan kapasitor bank untuk kondisi beban puncak maka besar tegangan sistem berada $< 95\%$ dari tegangan nominal atau dibawah tegangan 13,11 kV pada 8 titik yang direncanakan akan dipasang kapasitor bank.
2. Berdasarkan hasil analisa aliran daya setelah penempatan kapasitor bank maka sistem memerlukan kompensasi daya reaktif dengan rating kVAr sebesar : 2400 kVAr yang di pasang pada titik : X3; X4; X5; dan X8 dengan masing-masing kapasitas = 600 kVAr dan tegangan kerja sistem masih $< 95\%$ dari tegangan nominal dibawah tegangan 13,11 kV pada 2 titik yang direncanakan akan dipasang kapasitor bank.
3. Agar tegangan kerja sistem dapat dicapai $\geq 95\%$ atau $\geq 13,11$ kV dari tegangan nominal maka diperlukan untuk memperbesar kapasitas kapasitor bank dari 2400 kVAr menjadi 3000 kVAr yang ditempatkan pada titik : X2; X4; X5; X8 dan X10 dengan masing-masing kapasitas = 600 kVAr.

5.2 Saran

1. Berdasarkan hasil analisa penempatan kapasitor bank penulis menyarankan supaya PT CPI menempatkan kapasitor bank pada South Balam *feeder* 1 agar kualitas tegangan tetap berada pada level tegangan kerja sistem.
2. Agar PT. CPI melakukan pengawasan secara rutin terhadap tegangan sistem distribusi radial 13,8 kV khususnya South Balam *feeder* 1, karena pada kondisi beban puncak telah memerlukan kompensasi daya reaktif.

DAFTAR PUSTAKA

- Elfrida Sianipar, 2011. *Studi Penempatan Transformator Distribusi Berdasarkan Jatuh Tegangan Pada PT. PLN (Persero) Rayon Medan Kota*, Medan: Skripsi USU.
- Tarsin Saragih, 2011. *Analisis Penempatan Optimal Kapasitor bank Pada Sistem Distribusi Radial Dengan Metode Genetik Algorithm Aplikasi : PT. PLN (Persero) Cabang Medan*, Medan: tesis USU.
- Tim, 2006. *Modul-3 PGT* . Duri: PT. Chevron Pacific Indonesia.
- IKetut Suryawan, Anak Agung Ngurah Made Narottama, Kadek Amerta Yasa, 2012. *Optimasi Desain Kapasitor bank Untuk Perbaikan Faktor Daya Berbasis Assesmen Stokastik Menggunakan Genetic Algorithm*, Jurnal Logic Volume 12, No.3.