

Studi Optimasi Penempatan dan Ukuran Kapasitor Dengan Metode Genetik Algoritma Pada Distribusi Hotel Starlet

Erwin Dermawan^{1*}, Riza Samsinar¹, Nurudin¹

¹Jurusan Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Jakarta
Jl. Cempaka Putih Tengah 27 Jakarta Pusat 10510

*Corresponding Author : riza.samsinar@ftumj.ac.id

Abstrak

Daya reaktif pada sistem distribusi disebabkan oleh saluran yang sebagian besar merupakan komponen reaktif, akan tetapi daya reaktif menjadi konsumsi beban-beban induktif. Apabila didalam suatu sistem distribusi listrik pada pusat cabang distribusi tidak dipasang kapasitor maka daya reaktif pada sistem distribusi akan dipikul sepenuhnya oleh generator, sehingga terdapat rugi-rugi pada sistem distribusi yang membuat daya semu yang disuplai oleh PLN menjadi besar dan biaya yang ditanggung oleh konsumen listrik semakin mahal. Oleh karena itu diperlukan suatu langkah yang harus dilakukan untuk mengkompensasi daya reaktif pada sistem distribusi salah satunya dengan optimasi penempatan dan ukuran kapasitor bank.

Pada penelitian ini akan dilakukan optimasi penempatan dan ukuran kapasitor bank pada sistem distribusi dengan menggunakan acuan dari data-data yang didapatkan dari hasil pengukuran dan simulasi, sehingga dapat diketahui seberapa besar pengaruh kapasitor bank dalam mengkompensasi daya reaktif yang terdapat pada sistem distribusi sehingga rugi-rugi pada sistem dapat diperbaiki dengan bantuan ETAP powerstation 12.6.0.

Kata Kunci : *Sistem Distribusi, Daya Aktif, Daya Reaktif, Beban Induktif, Kapasitor Bank.*

Abstract

Reactive power in distribution systems is caused by channels which are mostly reactive components, but reactive power is consumed by inductive loads. If in a power distribution system at the center of the distribution branch is not installed capacitors, the reactive power in the distribution system will be borne entirely by the generator, so there are losses in the distribution system that makes the apparent power supplied by PLN becomes large and the costs borne by electricity consumers to more expensive. Therefore we need a step that must be done to compensate for the reactive power in the distribution system, one of which is by optimizing the placement and size of the bank capacitors.

This research will optimize the placement and size of bank capacitors in the distribution system by using the reference from data obtained from the measurement and simulation results, so that it can be seen how much influence the bank capacitors in compensating the reactive power contained in the distribution system so that losses on the system can be fixed with the help of ETAP Powerstation 12.6.0.

Keywords : *Distribution System, Active Power, Reactive Power, Inductive Load, Capacitor Bank*

PENDAHULUAN

Jaringan distribusi merupakan bagian dari sistem tenaga listrik yang bertugas menyalurkan daya listrik dari pusat pembangkit menuju ke beban atau konsumen. Daya yang diperlukan konsumen berupa daya aktif dan daya reaktif. Besarnya arus yang mengalir pada saluran, berakibat drop tegangan menjadi semakin besar, rugi-rugi daya pada saluran juga semakin besar. Kapasitor mampu menghasilkan daya reaktif yang dapat digunakan untuk menambah supply daya reaktif dari generator. Dengan meningkatnya daya reaktif pada sistem, diharapkan rugi-rugi daya, drop tegangan pada sistem akan mengecil. Pada jaringan distribusi

saat ini, beban daya listrik tidak hanya beban linear saja, melainkan adanya beban non-linear yang berakibat pada munculnya arus harmonisa pada sistem.

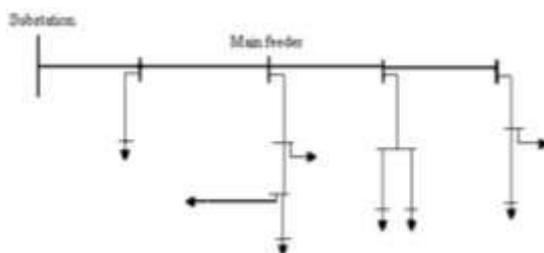
Pada sistem distribusi radial untuk penempatan yang optimal dan ukuran kapasitor menjadi dinamika dari beberapa metode penyelesaian. Mendefinisikan jumlah yang optimal, lokasi, dan ukuran kapasitor dapat memaksimalkan perbaikan tegangan, faktor daya, dan tetap menjaga kondisi sistem beroperasi dengan kualitas tinggi. Karena pada sistem distribusi radial, semua kebutuhan daya aktif dan kerugian pada distribusi dipasok oleh sumber di simpul utama (*main node*).

Penelitian ini disajikan untuk memperkenalkan teknik solusi yang praktis untuk meningkatkan kinerja *feeder* melalui penempatan dan ukuran kapasitor bank secara optimal. Dan algoritma genetika (GA) menyajikan keunggulan menemukan solusi yang berkualitas dan cerdas dengan upaya proses yang sederhana dalam pemahaman dan implementasi. Penelitian ini menyajikan teknik yang efektif untuk menentukan lokasi yang optimal untuk kapasitor bank dalam sistem distribusi menggunakan algoritma genetika sebagai teknik optimasi. Tujuannya adalah untuk menempatkan kapasitor bank yang lebih optimal pada bus yang tepat untuk memperbaiki tegangan dan faktor daya pada sistem. Penelitian ini dilakukan pada jaringan distribusi 20kV di Hotel Starlet Gading Serpong.

TINJAUAN PUSTAKA

Sistem Distribusi

Pada dasarnya Jaringan transmisi dan distribusi untuk sistem tenaga listrik adalah berfungsi sebagai sarana untuk menyalurkan energi listrik yang dihasilkan dari pusat pembangkit ke pusat-pusat beban. Ada dua sistem jaringan distribusi listrik yaitu sistem jaringan distribusi primer dan sistem jaringan distribusi sekunder. Kedua sistem dibedakan berdasarkan tegangan kerjanya. Pada umumnya tegangan kerja pada sistem jaringan distribusi primer adalah 20 kV, sedangkan tegangan kerja pada sistem jaringan distribusi sekunder adalah 220/380 volt, untuk lebih jelasnya dapat dilihat pada Gambar 2.1.



Gambar 2.1. Tipikal jaringan distribusi

Yang dibutuhkan oleh konsumen untuk penyaluran daya listrik (tegangan rendah 380/220 volt) disuplai dari gardu-gardu distribusi yang bersumber dari jaringan primer (penyulang 20 kV) dan jaringan sekunder (gardu-gardu hubung 20 kV/380 volt).

Aliran Daya

Pada sistem multi-rel, penyelesaian aliran daya adalah dengan membentuk Persamaan aliran daya pada sistem. Metode yang digunakan pada umumnya dalam penyelesaian aliran daya, yaitu metode : Newton-Raphson, Gauss-Seidel, dan Fast Decoupled. Tetapi metode yang dibahas pada penelitian ini adalah dengan metode “*Newton-Raphson*”.

Metode *Newton-Raphson*

Dalam metode *Newton-Raphson* secara luas digunakan untuk permasalahan Persamaan non-linear. Penyelesaian Persamaan ini menggunakan permasalahan yang linear dengan solusi pendekatan. Metode ini dapat diaplikasikan untuk satu Persamaan atau beberapa Persamaan dengan beberapa Variabel yang tidak diketahui.

Langkah-langkah perhitungan aliran daya menggunakan metode *Newton-Raphson* sebagai berikut:

1. Membentuk matrik admitansi Y_{rel}
2. Menentukan nilai awal $V^{(0)}$, $\delta^{(0)}$, P_{spec} , Q_{spec}
3. Menghitung daya aktif dan daya reaktif
4. Menghitung nilai $\Delta P_i^{(k)}$ dan $\Delta Q_i^{(k)}$
5. Membuat matrik Jacobian
6. Menghitung nilai $\Delta \delta_i^{(k+1)}$ dan $\Delta |V|_i^{(k+1)}$
7. Mencari nilai ΔP dan ΔQ , Perhitungan akan konvergen jika nilai ΔP dan $\Delta Q \leq 10^{-4}$
8. Jika sudah konvergen maka perhitungan selesai, jika belum konvergen maka perhitungan dilanjutkan untuk iterasi berikutnya.

Dengan diperolehnya hasil output aliran daya dari sistem dengan metode *Newton-Raphson* dengan bantuan *software ETAP powerstation 12.6.0* yaitu: VAR, tegangan, daya aktif, daya semu, dan $\cos \theta$ adalah merupakan input yang digunakan dalam analisa penempatan optimal kapasitor bank.

Kapasitor bank

Dalam perbaikan faktor daya dan pengaturan tegangan jaringan, para engineer menggunakan kapasitor bank dengan sistem kompensasi daya reaktif yang ditawarkannya. Pada saluran distribusi, beban yang bersifat induktif akan menyerap daya reaktif, yang kemudian akan dapat menimbulkan jatuh tegangan di sisi penerima. Disinilah kapasitor bank berfungsi dalam mengkompensasi daya reaktif dan

memastikan tegangan terjaga pada levelnya pada saat beban penuh.

Pemasangan kapasitor bank merupakan usaha yang dilakukan untuk memberikan supply daya reaktif. Sehingga penggunaan kapasitor bank akan mengurangi penyerapan daya reaktif sistem oleh beban. Hal ini dilakukan agar jatuh tegangan dan rugi-rugi jaringan yang terjadi dapat dikurangi.

Fungsi dasar dari kapasitor seri atau shunt, dipasang sebagai satu kesatuan atau sebagai bank, adalah untuk mengatur tegangan dan daya reaktif mengalir pada titik di mana mereka dipasang. Kapasitor shunt melakukannya dengan mengubah faktor daya beban, sedangkan kapasitor seri melakukannya dengan langsung mengimbangi reaktansi induktif sirkuit yang diterapkan.

Penempatan Kapasitor Bank

Penempatan optimal kapasitor bank pada sistem distribusi radial untuk menjaga kualitas Tegangan dan kompensasi daya reaktif adalah dengan metode “algoritma genetika”.

1. Metode algoritma genetika

Tujuan dari metode ini adalah untuk menentukan rating VAR dan lokasi penempatan optimal kapasitor bank serta biaya (cost) atau VARnya pada sistem distribusi radial.

2. Konsep dasar algoritma genetika

Algoritma genetika (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. Pada algoritma biasa dimana pencarian solusi hanya dimulai dengan satu solusi yang mungkin inilah yang membedakan dengan GA, 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*). Tujuan operasi genetika ini dilakukan agar mendapatkan hasil sejumlah *chromosome* baru (*offspring*) yang dapat memberikan solusi lebih baik. Untuk setiap *chromosome* populasi

dievaluasi dengan menghitung nilai fitness (*fitness value*). *fitness value* yang biasa dipakai dari salah satu adalah dengan menghitung nilai fungsi tujuan (*objective value*).

Parameter Dan Batasan

Parameter genetik merupakan entitas yang membantu untuk mengatur kinerja algoritma genetik. Ada banyak variasi kemungkinan implementasi dalam GA seperti operator genetik, populasi variabel berukuran, dll. Berikut ini adalah beberapa parameter yang menjadi ciri ruang subclass dari GA.

Ukuran populasi (N) : Populasi ukuran mempengaruhi efisiensi algoritma. Jika kita memiliki populasi yang lebih kecil, itu tidak akan menutupi seluruh ruang masalah yang mengakibatkan kinerja yang buruk.

Tingkat crossover (C) : Tingkat crossover parameter yang efek tingkat dimana operator crossover diterapkan. Di setiap penduduk baru, C*N string menjalani crossover. Sebuah crossover untuk tingkat lebih tinggi memperkenalkan string baru lebih cepat ke populasi. Jika tingkat *crossover* terlalu tinggi, string kinerja dieliminasi tinggi, dapat menghasilkan pilihan perbaikan yang lebih cepat.

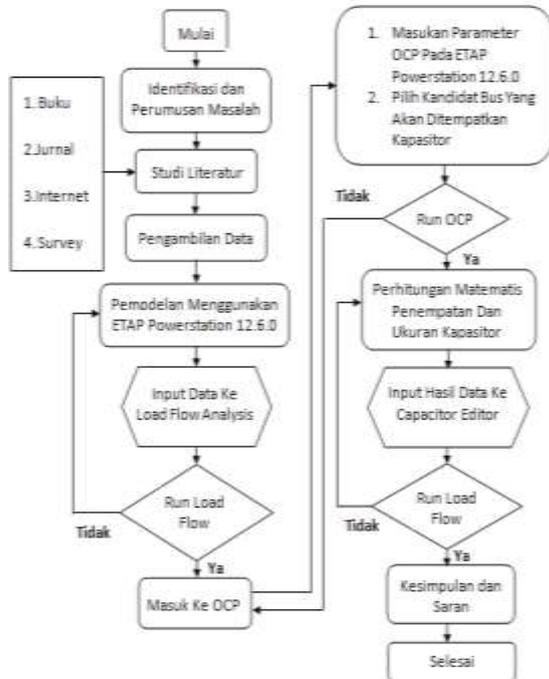
Tingkat mutasi (M) : tingkat mutasi adalah probabilitas yang setiap posisi bit dari setiap string dalam populasi baru mengalami perubahan acak setelah proses seleksi. Pada dasarnya ini adalah operator pencarian sekunder yang meningkatkan keragaman dalam populasi. Sekitar mutasi M*N*L terjadi per generasi, di mana L adalah panjang string. Tingkat mutasi rendah membantu untuk mencegah posisi bit apapun dari terjebak ke satu nilai sedangkan hasil tingkat mutasi yang tinggi dasarnya yaitu pencarian acak.

Pada penelitian tugas akhir ini yang dicari adalah 2 (dua) parameter, yaitu letak dan ukuran dari kapasitor bank (VAR), maka gen pada *chromosome* berisi 2 (dua). Nilai pertama untuk menentukan lokasi *chromosome* yang berupa nilai 0 atau 1.

Nilai 0 mengidentifikasi bahwa tidak ada kapasitor bank yang ditempatkan pada bus dari sistem distribusi radial, sedangkan nilai 1 mengidentifikasi kapasitor bank yang ditempatkan pada bus dari sistem distribusi radial, dan nilai kedua berisikan informasi tentang ukuran kapaitor bank.

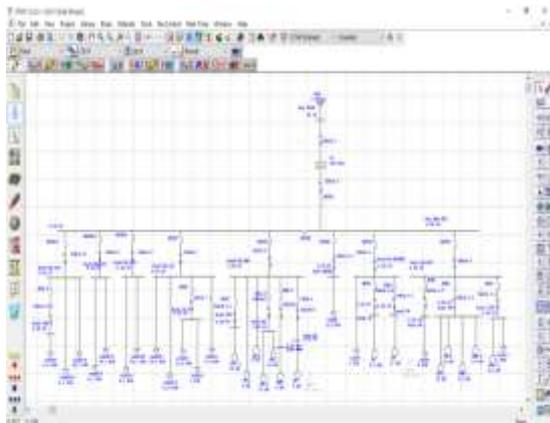
METODOLOGI

Secara garis besar tahap penelitian ini dapat direpresentasikan dalam diagram alir dibawah ini :



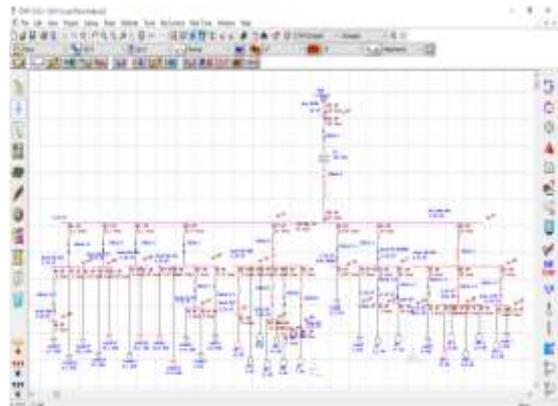
Gambar 3.1 Diagram alir proses

Tahap pertama yang dilakukan dalam memulai penelitian tugas akhir ini adalah melakukan Mengidentifikasi dan merumuskan masalah yang ada kemudian dilanjutkan dengan mencari referensi dan literatur yang terkait. Selanjutnya dilakukan pengumpulan data teknis peralatan listrik existing dan membuat pemodelan *single line diagram* pada software ETAP Powerstation 12.6.0 seperti yang terlihat pada gambar berikut :



Gambar 3.2 Single line diagram pada layout kerja ETAP Powerstation 12.6.0

Kemudian setelah dilakukan pemodelan pada ETAP *powerstation* 12.6.0, *run load flow* maka pada *layout* menampilkan besar *voltage drop*, *power factor*, dan nilai MVAR pada setiap bus dan terdapat indikasi warna pada setiap bus. Jika pada bus terdapat warna merah maka bus tersebut melewati tegangan batas kritis (*critical*), dan jika pada bus terdapat warna pink maka bus tersebut melewati tegangan batas *marginal*. Dan pada proses yang terlihat pada gambar 3.2, terdapat 2 bus yang melewati tegangan batas kritis (*critical*) yaitu bus4-PD.PMP dan bus1-DB.ATP. Pada tabel dibawah ini akan ditampikan karakteristik data teknis dari hasil *run load flow analysis* sebelum penempatan kapasitor bank pada konfigurasi kondisi normal dengan *software ETAP Powerstation 12.6.0*.



Gambar 3.3 load flow analysis ETAP Powerstation 12.6.0

Tabel 3.1 hasil aliran daya sebelum penempatan kapasitor bank pada konfigurasi kondisi normal dengan *software ETAP Powerstation 12.6.0*.

Bus Loading Summary Report

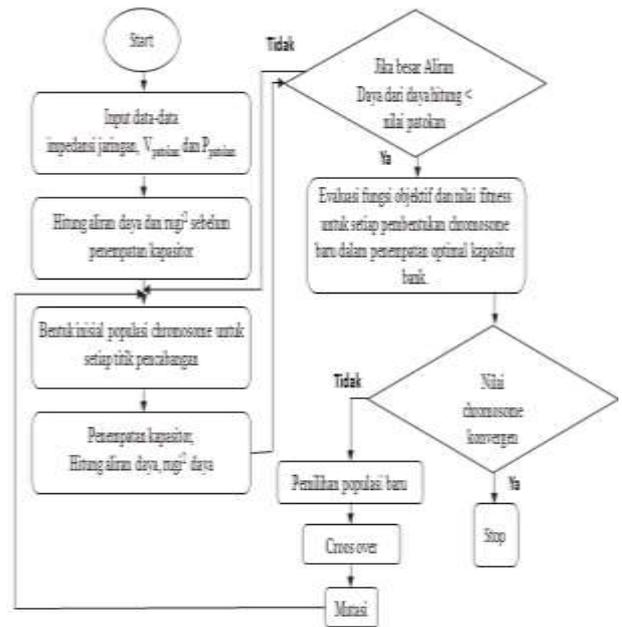
| No | Bus ID | KV | | Directly Connected Load | | | | Total Bus Load |
|----|-----------------|--------|--------|-------------------------|--------|-----------|-------|----------------|
| | | Normal | Hitung | Circuit 1/A | | Circuit 2 | | |
| | | | | MVA | Mvar | MVA | Mvar | MVA |
| 1 | Bus PUTM | 20,000 | 20,000 | 0,199 | 0,118 | 0 | 0 | 0,321 |
| 2 | Bus-MDB.SUS | 0,380 | 0,366 | 0,282 | 0,101 | 0 | 0 | 0,389 |
| 3 | Bus1-DB.ATP | 0,380 | 0,3603 | 0,042 | 0,023 | 0,000 | 0 | 0,078 |
| 4 | Bus1.HP | 0,380 | 0,357 | 0,020 | 0,028 | 0 | 0 | 0,027 |
| 5 | Bus1.LIFT | 0,380 | 0,357 | 0,012 | 0,017 | 0,000 | 0,000 | 0,012 |
| 6 | Bus1.SB | 0,380 | 0,359 | 0,000 | -0,000 | 0,004 | 0 | 0,004 |
| 7 | Bus2-PP.HYDRANT | 0,380 | 0,364 | 0,020 | 0,024 | 0,000 | 0,000 | 0,028 |
| 8 | Bus2.EP | 0,380 | 0,363 | 0,047 | 0,022 | 0 | 0 | 0,022 |
| 9 | Bus2.JP | 0,380 | 0,362 | 0,000 | 0,000 | 0 | 0 | 0,000 |
| 10 | Bus3.KNTRL | 0,380 | 0,364 | 0,000 | -0,000 | 0,004 | 0,000 | 0,004 |
| 11 | Bus4-PD.PMP | 0,380 | 0,360 | 0,078 | 0,041 | 0 | 0 | 0,099 |
| 12 | Bus4.EP | 0,380 | 0,357 | 0,011 | 0,006 | 0 | 0 | 0,012 |
| 13 | Bus4.DW | 0,380 | 0,356 | 0,016 | 0,019 | 0 | 0 | 0,041 |
| 14 | Bus4.RWP | 0,380 | 0,391 | 0,002 | 0,002 | 0 | 0 | 0,000 |
| 15 | Bus4.STP | 0,380 | 0,346 | 0,021 | 0,010 | 0 | 0 | 0,033 |
| 16 | Bus5-DB.LT1 | 0,380 | 0,365 | 0,000 | -0,000 | 0,017 | 0,000 | 0,017 |
| 17 | Bus5.CV.S | 0,380 | 0,362 | 0,000 | -0,000 | 0,011 | 0,000 | 0,011 |
| 18 | Bus6-DB.LT2 | 0,380 | 0,364 | 0,000 | -0,000 | 0,017 | 0,000 | 0,017 |
| 19 | Bus7-DB.LT3 | 0,380 | 0,364 | 0,000 | -0,000 | 0,010 | 0,000 | 0,010 |
| 20 | Bus8-DB.LT4 | 0,380 | 0,364 | 0,000 | -0,000 | 0,010 | 0,000 | 0,010 |
| 21 | Bus8.FAN | 0,380 | 0,359 | 0,000 | -0,000 | 0,004 | 0,000 | 0,004 |

* Indicates operating load of a bus exceeds the bus critical limit (100.0% of the Continuous Ampere rating).
Indicates operating load of a bus exceeds the bus marginal limit (95.0% of the Continuous Ampere rating).

Tabel 3.2 profil tegangan bus

| No | Bus ID | Tegangan kV | |
|----|-----------------|-------------|-----------|
| | | KV Normal | kV Hitung |
| 1 | Bus PUTM | 20,000 | 20,000 |
| 2 | Bus-MDB.SUS | 0,380 | 0,366 |
| 1 | Bus1-DB.ATP | 0,380 | 0,3603 |
| 2 | Bus1.HP | 0,380 | 0,357 |
| 3 | Bus1.LIFT | 0,380 | 0,357 |
| 4 | Bus1.SB | 0,380 | 0,359 |
| 7 | Bus2-PP.HYDRANT | 0,380 | 0,364 |
| 8 | Bus2.EP | 0,380 | 0,363 |
| 9 | Bus2.JP | 0,380 | 0,362 |
| 10 | Bus3.KNTRL | 0,380 | 0,364 |
| 5 | Bus4-PD.PMP | 0,380 | 0,360 |
| 6 | Bus4.EP | 0,380 | 0,357 |
| 7 | Bus4.DW | 0,380 | 0,356 |
| 8 | Bus4.RWP | 0,380 | 0,391 |
| 9 | Bus4.STP | 0,380 | 0,346 |
| 16 | Bus5-DB.LT1 | 0,380 | 0,365 |
| 17 | Bus5.CV.S | 0,380 | 0,362 |
| 18 | Bus6-DB.LT2 | 0,380 | 0,364 |
| 19 | Bus7-DB.LT3 | 0,380 | 0,364 |
| 20 | Bus8-DB.LT4 | 0,380 | 0,364 |
| 21 | Bus8.FAN | 0,380 | 0,359 |

sistem distribusi radial sebelum penempatan kapasitor bank pada konfigurasi kondisi normal dengan *software ETAP Powerstation 12.6.0*. Selanjutnya melakukan perhitungan matematis optimal penempatan dan ukuran kapasitor bank dengan metode genetik algoritma dan simulasi optimal capacitor placement dengan *ETAP powerstation 12.6.0*. Secara garis besar perhitungan matematis dengan metode genetik algoritma seperti diagram alir dibawah ini :



Gambar 3.4 diagram alir perhitungan

Dan setelah didapatkan optimal penempatan dan ukuran kapasitor bank selanjutnya melakukan simulasi kembali dengan *ETAP powerstation 12.6.0*. Untuk mengetahui seberapa efektif unjuk kerja kapasitor dalam mengkompensasi daya reaktif, memperbaiki tegangan dan faktor daya pada sistem.

Tabel 3.4 hasil aliran daya setelah

Bus Loading Summary Report

| No | Bus ID | KV | | Directly Connected Load | | | | Total Bus Load |
|----|-----------------|--------|--------|-------------------------|-------|-----------|--------|----------------|
| | | Normal | Hitung | Circuit 1/A | | Circuit 2 | | |
| | | | | MVA | Mvar | MVA | Mvar | MVA |
| 1 | Bus PUTM | 20,000 | 20,000 | 0,191 | 0,118 | 0 | 0 | 0,310 |
| 2 | Bus-MDB.SUS | 0,380 | 0,371 | 0,281 | 0,101 | 0 | -0,000 | 0,386 |
| 3 | Bus1-DB.ATP | 0,380 | 0,367 | 0,042 | 0,023 | 0,006 | -0,047 | 0,085 |
| 4 | Bus1.HP | 0,380 | 0,361 | 0,020 | 0,028 | 0 | 0 | 0,027 |
| 5 | Bus1.LIFT | 0,380 | 0,364 | 0,012 | 0,017 | 0,000 | 0,000 | 0,012 |
| 6 | Bus1.SB | 0,380 | 0,366 | -0,000 | 0,000 | 0,002 | 0 | 0,002 |
| 7 | Bus2-PP.HYDRANT | 0,380 | 0,370 | 0,020 | 0,024 | 0,000 | 0,000 | 0,028 |
| 8 | Bus2.EP | 0,380 | 0,368 | 0,047 | 0,022 | 0 | 0 | 0,022 |
| 9 | Bus2.JP | 0,380 | 0,368 | 0,000 | 0,000 | 0 | 0 | 0,000 |
| 10 | Bus3.KNTRL | 0,380 | 0,370 | -0,000 | 0,000 | 0,004 | 0,000 | 0,004 |
| 11 | Bus4-PD.PMP | 0,380 | 0,367 | 0,078 | 0,041 | 0 | -0,047 | 0,090 |
| 12 | Bus4.EP | 0,380 | 0,364 | 0,011 | 0,006 | 0 | 0 | 0,012 |
| 13 | Bus4.DW | 0,380 | 0,365 | 0,016 | 0,019 | 0 | 0 | 0,041 |
| 14 | Bus4.RWP | 0,380 | 0,368 | 0,002 | 0,002 | 0 | 0 | 0,000 |
| 15 | Bus4.STP | 0,380 | 0,355 | 0,021 | 0,010 | 0 | 0 | 0,033 |
| 16 | Bus5-DB.LT1 | 0,380 | 0,371 | -0,000 | 0,000 | 0,017 | 0,000 | 0,017 |
| 17 | Bus5.CV.S | 0,380 | 0,368 | -0,000 | 0,000 | 0,011 | 0,000 | 0,011 |
| 18 | Bus6-DB.LT2 | 0,380 | 0,370 | -0,000 | 0,000 | 0,017 | 0,000 | 0,017 |
| 19 | Bus7-DB.LT3 | 0,380 | 0,370 | -0,000 | 0,000 | 0,010 | 0,000 | 0,010 |
| 20 | Bus8-DB.LT4 | 0,380 | 0,370 | -0,000 | 0,000 | 0,010 | 0,000 | 0,010 |
| 21 | Bus8.FAN | 0,380 | 0,365 | -0,000 | 0,000 | 0,004 | 0,000 | 0,004 |

* Indicates operating load of a bus exceeds the bus critical limit (100.0% of the Continuous Ampere rating).
Indicates operating load of a bus exceeds the bus marginal limit (95.0% of the Continuous Ampere rating).

Analisa dan Pembahasan

Perencanaan optimasi penempatan dan ukuran kapasitor pada software ETAP Powerstation membutuhkan beberapa parameter-parameter diantaranya adalah :

1. Proses aliran daya menggunakan metode Newton Raphson
2. Nilai minimum tegangan pada bus
3. Nilai minimum faktor daya pada bus
4. Nilai daya reaktif pada bus untuk perbaikan tegangan

Maka dari 4 parameter diatas, proses optimasi penempatan dan ukuran kapasitor baru bisa dilakukan dengan baik setelah mendapatkan nilai minimum tegangan, faktor daya dan daya reaktif pada bus setelah melalui proses aliran daya. Setelah terindikasi deviasi tegangan pada setiap bus melalui proses aliran daya, kemudian masuk ke *menu optimasi capacitor placement* pada ETAP *powerstation* 12.6.0.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Tegangan Sebelum Penempatan Kapasitor

Dari hasil simulasi aliran daya yang bertujuan mengindikasikan deviasi tegangan pada setiap bus pada proyek Hotel Starlet Gading Serpong-Tangerang. Maka hasil aliran daya pada tabel 3.1 diatas, telah didapatkan 2 bus cabang yang mengalami deviasi tegangan yang melewati batas kritis (*critical*) yaitu bus1-DB.ATP dengan cabang bus1.HP, bus1.LIFT, bus1.SB dan bus4-PD.PMP dengan cabang bus4.BP, bus4.RWP, bus4.DW dan bus4.STP. Hasil dari simulasi aliran daya untuk bus yang mengalami penurunan tegangan kritis (*critical*) telah dibuatkan tabel dibawah ini :

Tabel 4.1 profil tegangan sebelum penempatan kapasitor bank

| No | Bus ID | Tegangan kV | |
|----|-------------|-------------|-----------|
| | | kV Nominal | kV Hitung |
| 1 | Bus1-DB.ATP | 0,380 | 0,3605 |
| 2 | Bus1.HP | 0,380 | 0,357 |
| 3 | Bus1.LIFT | 0,380 | 0,357 |
| 4 | Bus1.SB | 0,380 | 0,359 |
| 5 | Bus4-PD.PMP | 0,380 | 0,360 |
| 6 | Bus4.BP | 0,380 | 0,357 |
| 7 | Bus4.DW | 0,380 | 0,356 |
| 8 | Bus4.RWP | 0,380 | 0,391 |
| 9 | Bus4.STP | 0,380 | 0,346 |

Dari tabel 4.1 telah ditampilkan tegangan pada bus1-DB.ATP dan bus4-PD.PMP. Maka bus tersebut dipilih untuk optimal penempatan dan ukuran kapasitor bank, sebagai mewakili sistem distribusi radial 20kV pada Hotel Starlet Gading Serpong-Tangerang. Dari hasil perhitungan matematis menyatakan bahwa analisa penempatan optimal kapasitor bank pada sistem radial 20 kV di Hotel Starlet Gading Serpong diperoleh chromosome yang terbaik (*fitness* mendekati 1,000 yaitu $\epsilon < 0,0001$) adalah:

Chromosome = [50; 50] dan dapat dikodekan dalam bentuk binominal sebagai berikut:

[01 01] atau A = 50 kVAR; B = 50 kVAR

Jika dihitung terhadap: $F_{maks} = A + B$

$$= 50 + 50$$

$$F_{maks} = 100 \text{ kVAR}$$

Tegangan Setelah Penempatan Kapasitor

Berdasarkan analisa menggunakan aliran daya pada ETAP *powerstation* 12.6.0 bahwa pada sistem distribusi radial Hotel Starlet Gading Serpong-Tangerang. Terdapat 2 (dua) bus yang mengalami penurunan tegangan melewati batas kritis (*critical*) yaitu bus1-DB.ATP dengan cabang bus1.HP, bus1.LIFT, bus1.SB dan bus4-PD.PMP dengan cabang bus4.BP, bus4.RWP, bus4.DW dan bus4.STP. Peraturan SPLN telah ditetapkan bahwa penurunan tegangan maksimum yang ditentukan pada jaringan SUTM adalah 5% dari tegangan kerja untuk sistem distribusi radial. Maka dengan ini sistem distribusi harus ditambahkan kapasitor bank dengan penempatan dan ukuran yang benar agar perbaikan pada sistem bisa optimal. Sistem optimasi penempatan dan ukuran kapasitor menggunakan bantuan *optimasi capacitor placement* pada ETAP *powerstation* 12.6.0 Hasil dari simulasi aliran daya untuk profil perbaikan tegangan pada bus setelah penempatan kapasitor telah dibuatkan tabel dibawah ini :

Tabel 4.2 profil tegangan setelah penempatan kapasitor bank

| No | Bus ID | Tegangan kV | |
|----|-------------|-------------|-----------|
| | | kV Nominal | kV Hitung |
| 1 | Bus1-DB.ATP | 0,380 | 0,367 |
| 2 | Bus1.HP | 0,380 | 0,363 |
| 3 | Bus1.LIFT | 0,380 | 0,364 |
| 4 | Bus1.SB | 0,380 | 0,366 |
| 5 | Bus4-PD.PMP | 0,380 | 0,367 |
| 6 | Bus4.BP | 0,380 | 0,364 |
| 7 | Bus4.DW | 0,380 | 0,363 |
| 8 | Bus4.RWP | 0,380 | 0,366 |
| 9 | Bus4.STP | 0,380 | 0,353 |

Dari hasil tabel 4.2 profil tegangan setelah penempatan kapasitor bank telah dibuktikan bahwa dengan menempatkan kapasitor dan ukuran kVAR yang tepat melalui proses *optimasi capacitor placement* pada ETAP *powerstation* 12.6.0 dan perhitungan matematis dapat memperbaiki tegangan pada bus. Sehingga tegangan pada bus $\geq 95\%$ Dimana pada peraturan SPLN telah ditetapkan bahwa penurunan tegangan maksimum yang ditentukan pada jaringan SUTM adalah 5% dari tegangan kerja untuk sistem distribusi radial.

Analisa Fungsi Objektif

Ada 3 macam fungsi objektif yang akan dianalisa pada tugas akhir ini yaitu :

1. Fungsi objektif kapasitor bank

Berdasarkan proses analisa menggunakan bantuan *optimasi capacitor placement* pada ETAP *powerstation* 12.6.0, dimana optimasi penempatan dan ukuran kapasitor bank pada sistem distribusi 20kV. Telah ditentukan untuk penempatan dan ukuran kapasitor bank pada bus :

$C_1 = A = \text{Bus1-DB.ATP}$ dengan besar tegangan = 0,3605 kV

$C_2 = B = \text{Bus4-PD.PMP}$ dengan besar tegangan = 0,360 kV

Dengan masing-masing kVAR yang diinjeksikan pada bus yang mewakili sistem adalah :

$A = 50 \text{ kVAR}; B = 50 \text{ kVAR};$

Sehingga fungsi nilai objektif rating kapasitor adalah $F_{\text{maks}} = A + B = Q_c$

Maka

F_{objektif} rating kapasitor bank adalah =

$F_{\text{maks}} = Q_c = A + B$

$Q_c = 50 + 50$

$F_{\text{maks}} = Q_c = 100 \text{ kVAR}.$

2. Fungsi objektif rugi-rugi daya

Berdasarkan aliran daya setelah penempatan optimal kapasitor bank pada sistem distribusi radial 20kV terlihat ada perbaikan daya kompensasi daya reaktif yakni sebelum penempatan optimal kapasitor bank bahwa besar total daya reaktif pada keseluruhan titik cabang beban untuk sistem distribusi radial 20kV adalah : 101 kVAR dan setelah penempatan optimal kapasitor bank pada sistem distribusi radial untuk rated total kompensasi daya reaktif seluruh titik cabang beban adalah : 100 kVAR, dan dinyatakan dalam fungsi objektif rugi-rugi daya adalah :

$\text{Min } F = S_{\text{loss}}$

$$= \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n |V_i \cdot V_j \cdot Y_{ij}| \angle \theta_{ij} + \delta_j - \delta_i$$

Dimana :

V_i = Tegangan pada bus (i)

V_j = Tegangan pada bus (j)

Y_{ij} = Admitansi pada bus (ij)

θ_{ij} = Sudut fasa antara titik bus (i) dengan titik bus (j)

δ_j = Sudut fasa pada titik bus (j)

δ_i = Sudut fasa pada titik bus (i)

sehingga fungsi objektif rugi-rugi daya untuk:

a. Sebelum penempatan kapasitor bank

$\text{Min } F = S_{\text{loss}}$

$$= \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n |V_i \cdot V_j \cdot Y_{ij}| \angle \theta_{ij} + \delta_j - \delta_i$$

$\text{Min } F = 101 \text{ kVAR}$ yang diperoleh dari hasil aliran daya sebelum penempatan kapasitor bank

b. Sesudah penempatan kapasitor bank

$\text{Min } F = S_{\text{loss}}$

$$= \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n |V_i \cdot V_j \cdot Y_{ij}| \angle \theta_{ij} + \delta_j - \delta_i$$

$\text{Min } F = 93 \text{ kVAR}$ yang diperoleh dari hasil aliran daya setelah penempatan kapasitor bank. Maka dari hasil diatas dapat diketahui bahwa, setelah penempatan optimal kapasitor bank ada perbaikan, daya reaktif sebesar : $(101 - 93) = 8 \text{ kVAR}$.

3. Fungsi objektif biaya kapasitor bank

Berdasarkan analisa daya pada penelitian tugas akhir ini objek penelitian adalah dimana sistem pada kondisi konfigurasi beban normal, sehingga masalah waktu pembebanan puncak tidak dilakukan pada objek penelitian ini, maka untuk menentukan fungsi objektif biaya kapasitor bank adalah berdasarkan rumus :

$$\text{Min Cost} = \sum_{i=1}^n (X_i \cdot C_{X_i} + Q_{C_i} \cdot C_{C_i} + B_i \cdot C_{B_i} \cdot T_i) + C_2 \sum_{i=1}^n T_i \cdot P_i$$

Dimana :

N_{bus} = nomor kandidat bus

X_i = 0/1, menyatakan apakah ada/tidak ada penempatan kapasitor bank pada bus1

C_{oi} = biaya instalasi kapasitor bank

C_{li} = biaya kapasitor bank/VAR

Q_{oi} = besar rating kapasitor bank/VAR

B_i = nomor kapasitor bank ($i = 1,2,\dots$)

T = periode waktu perencanaan (Rp/hari)

N_{load} = level beban (maksimum, minimum, dan rata-rata)

T_1 = durasi beban pada level 1

P_L^1 = Total rugi-rugi beban pada level 1

C_{2i} = biaya rugi-rugi/kwh

Karena analisa daya dilakukan pada kondisi konfigurasi normal, maka

Nilai $C_2 = \sum_{i=1}^{n=2} T_1 P_L^1 = 0$, sehingga fungsi objektif biaya kapasitor

$$\text{Min Cost} = \sum_{i=1}^{n=2} (X_i C_{oi} + Q_{oi} C_{li} + B_i C_{2i} T)$$

Karena letak optimal penempatan kapasitor bank berada pada bus1-DB.ATP dan bus4-PD.PMP, maka X adalah merupakan penempatan optimal kapasitor bank sehingga :

$$\text{Min Cost} = \sum_{i=1}^{n=2} (X_i C_{oi} + Q_{oi} C_{li} + B_i C_{2i} T)$$

Dimana :

$N = i = 2$ (jumlah titik letak optimal kapasitor bank)

$C_o = 28.276.500,-$

$C_{li} = 1.159,30,-/KVAR$

$T = 1.000.000,-/hari$

$C_{2i} = 1.077,18,-/kwh$

Sehingga :

$$\text{Min Cost} = [2 \times 28.276.500 + \{ (50 \times 1.159,30/kVAR + 50 \times 1.159,30/kVAR) \} + 2 \times (98 \times 1.077,18/kWH) + 1.000.000]$$

Min Cost = Rp. 57.880.057,28,-

Dari perhitungan matematis diatas maka untuk biaya minimum (Min Cost) pada sistem distribusi radial 20kV Hotel Starlet Gading Serpong-Tangerang, dalam kondisi konfigurasi beban normal adalah Rp 57.880.057,28,-

KESIMPULAN

Dari Berdasarkan hasil analisa dan pembahasan sebelum dan sesudah penempatan optimal kapasitor bank pada sistem distribusi radial 20 kV di Hotel Starlet Gading Serpong-Tangerang, maka kesimpulannya adalah sebagai berikut :

1. Berdasarkan hasil analisa aliran daya sebelum penempatan optimal kapasitor bank untuk kondisi beban dalam keadaan beban maksimum maka besar tegangan sistem berada < 95 % dari tegangan nominal pada bus cabang yaitu bus1-DB.ATP dan bus4-PD.PMP.
2. Berdasarkan hasil analisa aliran daya setelah penempatan optimal kapasitor bank maka sistem memerlukan kompensasi daya reaktif dengan rating kVAR sebesar : 100 kVAR yang di pasang pada bus cabang : bus1-DB.ATP dan bus4-PD.PMP masing-masing dengan kapasitas 50 kVAR dan tegangan kerja sistem dapat dicapai ≥ 95 % dari tegangan nominal.

DAFTAR PUSTAKA

- Tarsin Suragih “Analisa Penempatan Optimal Bank Kapasitor Pada Sistem Distribusi Radial Dengan Metode Genetik Algoritma” Aplikasi : PT. PLN (PERSERO) Cabang Medan
- David Tampubolon “Optimalisasi Penggunaan Kapasitor Bank Pada Jaringan 20kV Dengan Simulasi ETAP (Studi Kasus Pada Feeder Srikandi Di PLN Rayon Pangkalan Balai, Wilayah Sumatra Selatan)”.
- Ramasamy Natarajan “Power System Capacitors”.
- Ahmed M. Azmy et al “Optimal Sizing and Sizing of Capacitor Banks in Distribution Networks using Heuristic Algorithms”
- Turan Gonen “Electrical Power Distribution System Engineering”
- Srinivasan Sundhararajan and Anil Pahwa “Optimal Selection of Capacitor For Radial Distribution System Using a Genetic Algorithm”
- Sathya Siva Chandan. G1 “Optimal Placement Of Capacitor And Sizing In a Radial Distribution Network To Reduce Real Power Losses”