

ANALISIS RUGI DAYA DI PENYULANG OEBUFU PT. PLN (PERSERO) ULP KUPANG MENGGUNAKAN ALGORITMA GENETIKA

Agusthinus S. Sampeallo¹, Wellem F. Galla² dan Dhanang H. L. Rohi³

^{1,2,3}Program Studi Teknik Elektro, Universitas Nusa Cendana, Jl. Adisucipto Penfui Kupang

¹Email: agusthinus.sampeallo@staf.undana.ac.id

²Email: wfridzg@staff.undana.ac.id

³Email: rohidhanang@gmail.com

Info Artikel

Histori Artikel:
Diterima Feb 16, 2021
Direvisi Apr 24, 2021
Disetujui Apr 24, 2021

ABSTRACT

An increase in electrical power demand can affect power distributing quality like power losses, voltage drop, and lower power factor. Load increasing makes a reactive current can be up when flow in high resistance conductor as an effect. Installation of capacitors in the distribution system is one of the most efficient methods to power losses pressure. This study discusses the optimization of capacitor's location and capacity. A genetic algorithm is using as an optimization method. The backward-Forward Sweep Method to be the method of power flow analysis before and after installation of capacitors to see their effect. The genetic algorithm will compare with the manual calculation of choosing capacitors to know how effectively of genetic algorithm. This scheme is tested in Feeder Oebufu on 20 kV distribution system under PT. PLN (Persero) ULP Kupang operation. The test was divided into 4 cases included: before installation, placement of 1 capacitor, 2 capacitors, and 3 capacitors. The best result got in 3 capacitors simulations. Before installation of the capacitor, the power losses are 771,9928 kW, voltage minimum is 0,9842 pu, and power factor is 0,91257. Placement of 3 capacitors on bus 131, 127, and 64 decrease a total power losses to be 31,164 kW, in other hand increase voltage profile around bus locations and power factor to be 0,99257.

Keywords: Power Losses, Capacitor, Genetic Algorithm, Backward-Forward Sweep Method, MATLAB

ABSTRAK

Peningkatan permintaan daya mempengaruhi kualitas penyaluran daya seperti adanya rugi daya, jaruh tegangan, dan faktor daya rendah. Kenaikan beban mengakibatkan naiknya nilai arus reaktif yang melewati penghantar beresistansi besar. Pemasangan kapasitor pada sistem distribusi adalah salah satu metode yang efisien menekan rugi daya. Pada penelitian ini membahas tentang optimasi lokasi dan kapasitas kapasitor. Algoritma Genetika digunakan sebagai metode optimasi. Metode Backward-Forward Sweep sebagai metode analisa aliran daya sebelum dan sesudah pemasangan kapasitor untuk mengetahui pengaruh pemasangan kapasitor. Hasil dari algoritma genetika dibandingkan dengan perhitungan manual untuk mengetahui keefektifan algoritma. Skema ini diujikan pada Penyulang Oebufu dari sistem distribusi 20 kV yang dioperasikan PT. PLN ULP Kupang. Pengujian dilakukan empat tahap yaitu: sebelum pemasangan, penempatan 1 buah kapasitor, 2 buah, dan 3 buah kapasitor. Hasil terbaik didapat pada pengujian 3 buah kapasitor. Sebelum pemasangan kapasitor rugi daya 771,9928 kW, tegangan minimum 0,9842 pu, faktor daya 0,91257. Pemasangan 3 buah kapasitor di bus 131, 127 dan 64 dapat menurunkan total rugi daya mencapai 31,1601 kW, menaikkan profil tegangan sekitar bus lokasi dan faktor daya menjadi 0,99257.

Kata Kunci: Rugi Daya, Kapasitor, Algoritma Genetika, Metode Backward-forward Sweep, MATLAB

PenulisKorespondensi:

Agusthinus S. Sampeallo
Program Studi Teknik Elektro, Universitas Nusa Cendana,
Universitas Nusa Cendana,
Jl. Adisucipto Penfui Kupang
Email: agusthinus.sampeallo@staf.undana.ac.id

1. PENDAHULUAN

Dalam pendistribusian daya listrik, beberapa masalah yang mempengaruhi kualitas daya yang disalurkan antara lain jatuh tegangan, rugi-rugi daya, faktor daya yang rendah. Rugi daya sendiri diakibatkan oleh besarnya resistansi penghantar yang melewatkan arus menuju ke beban. Kenaikan nilai arus bersesuaian dengan kenaikan beban. Besarnya beban reaktif juga memperbesar rugi daya, menurunkan faktor daya, dan memperbesar jatuh tegangan sepanjang saluran.

Selain penggantian penghantar saluran, Pemasangan Kapasitor pada saluran dapat menjadi solusi menurunkan rugi daya, meningkatkan profil tegangan sepanjang saluran dan memperbaiki faktor daya. Pemasangan kapasitor sebagai kompensator daya reaktif untuk memikul kebutuhan daya reaktif beban sehingga mengurangi besarnya arus reaktif yang disalurkan dari generator.

Untuk mendapatkan penurunan rugi-rugi daya serta perbaikan profil tegangan, maka penempatan kapasitor dan besaran yang diinjeksikan di saluran harus bersesuaian dengan susut daya yang dapat dicapai apabila kapasitor tersebut terpasang. Beberapa metode yang dapat dilakukan seperti metode perhitungan matematis dengan menempatkan 1 buah kapasitor dengan letak lokasi adalah di titik 2/3 dari total panjang saluran [1, 2]. Metode kecerdasan buatan (*Artificial Intelligence*) dapat digunakan juga seperti Algoritma Genetik [3-5], [6] yang mencari lokasi optimal kapasitor dengan mengubah beberapa parameter algoritma genetika [7], hasilnya ditempatkan lebih dari 3 kapasitor di lokasi berbeda, dan menghasilkan penurunan total rugi daya sekitar 50% dari total rugi daya sebelumnya. Metode kecerdasan buatan lainnya seperti *Particle Swarm Optimization* untuk menentukan kapasitas kapasitor juga digunakan seperti pada [8] yang ditambah dengan metode *Loss Sensitivity Factor*

untuk penentuan lokasi pemasangan kapasitor berdasarkan urutan rugi daya terbesar dari tiap-tiap bus dan Metode *Backward-Forward Sweep* sebagai metode penyelesaian Aliran daya dengan penurunan rugi energi sebesar 30% dari rugi energi sebelumnya.

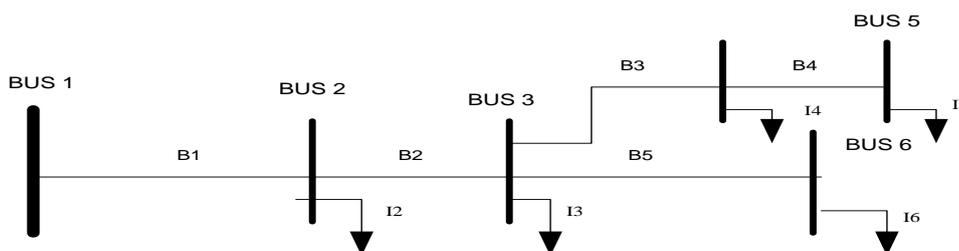
Metode Algoritma Genetika (GA) dapat digunakan sebagai metode penentuan lokasi dan kapasitas kapasitor disebabkan metode ini menggunakan probabilitas dalam beberapa tahapan, selain itu metode ini dapat mencari solusi terbaik dari populasi yang dibangkitkan sehingga akan tersedia banyak pilihan solusi. Algoritma Genetika menggunakan fungsi fitness sebagai fungsi objektif total rugi daya yang dapat diturunkan dan untuk membatasi keluaran dari fungsi objektif digunakan fungsi kendala (*constraint*).

Tujuan dari penelitian ini adalah menentukan lokasi dan kapasitas kapasitor dalam jaringan menggunakan Algoritma Genetika dan untuk melihat pengaruh pemasangan Kapasitor terhadap total rugi daya jaringan, profil tegangan sepanjang saluran dan faktor daya dibandingkan dengan sistem sebelum pemasangan kapasitor.

2. METODE PENELITIAN

2.1 Metode Aliran Daya *Backward-Forward Sweep*

Penelitian ini menggunakan metode *Backward-Forward Sweep* [9, 10] sebagai metode analisa aliran daya sebelum dan saat pemasangan kapasitor ke sistem sesudah lokasi dan kapasitas ditentukan. Dalam penelitian ini Metode analisa aliran daya *Newton Raphson* gagal mencapai konvergen. Metode ini sangat cocok digunakan untuk melakukan analisa aliran daya ada jaringan distribusi berbentuk radial dan *weakly meshed*. Selain itu dalam penelitian ini banyaknya beban yang dilayani saluran dan panjang saluran yang hampir mencapai 50 kms sehingga metode ini dapat diterapkan.



Gambar 1. Jaringan Distribusi Radial Sederhana

Pada metode ini, terlebih dahulu perlu diketahui bentuk struktur jaringan, dalam komputasinya Komputer akan mencari ujung-ujung saluran yang dapat diketahui dari hubungan antar bus, kemudian mencari hubungan dari tiap-tiap bus sampai pada akhirnya ditemukan bus utama/bus sumber dan diurutkan mulai dari bus sumber sampai bus-bus ujung saluran.

Pada metode ini daya kompleks pada bus i ($i=1,2,3,\dots$) diketahui melalui persamaan:

$$S_i = P_i + jQ_i \quad i=1,\dots,N \quad (1)$$

S_i adalah Daya Semu, P_i adalah daya aktif, Q_i adalah daya reaktif di bus i .

Untuk arus injeksi ekivalen pada iterasi ke- k adalah:

$$I_i^{(k)} = I_i^r(V_i^k) + jI_i^i(V_i^k) = \left(\frac{P_i + jQ_i}{V_i^{(k)}} \right)^* \quad (2)$$

Dimana V_i^k dan I_i^k merupakan tegangan dan arus injeksi pada iterasi ke- k di bus i . I_i^r dan I_i^i adalah komponen real dan imajiner dari arus injeksi di bus i pada iterasi ke- k .

Arus injeksi dapat dikonversi ke persamaan ekivalen arus injeksi (1). Berdasarkan gambar 1, untuk menghubungkan Arus injeksi bus dan arus percabangan B2, B3, B4, B5, B6 dapat digunakan hukum *Kirchoff* tentang arus (*Kirchoff Current Law*). Kemudian arus cabang dapat diformulasikan ke dalam persamaan Matriks injeksi arus ekivalen:

$$\begin{aligned} B_1 &= I_2 + I_3 + I_4 + I_5 + I_6 \\ B_2 &= I_3 + I_4 + I_5 + I_6 \\ B_3 &= I_4 + I_5 \\ B_4 &= I_5 \\ B_5 &= I_6 \end{aligned} \quad (3)$$

Dengan demikian, hubungan antara Arus injeksi dengan arus cabang dapat dinyatakan sebagai berikut:

$$\begin{bmatrix} B_1 \\ B_2 \\ B_3 \\ B_4 \\ B_5 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 & 1 & 1 \\ 0 & 1 & 1 & 1 & 1 \\ 0 & 0 & 1 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} I_2 \\ I_3 \\ I_4 \\ I_5 \\ I_6 \end{bmatrix} \quad (4)$$

Atau persamaan-persamaan ini dapat disusun sebagai berikut:

$$[B] = [BIAC][I] \quad (5)$$

Matriks konstan BIAC adalah suatu matriks yang berisi elemen nilai 1 dan 0 saja.

Untuk fungsi arus cabang dengan parameter saluran dan tegangan sumber atau gardu induk sebagai berikut:

$$\begin{aligned} V_1 - V_2 &= B_1 Z_{12} \\ V_1 - V_3 &= B_1 Z_{12} + B_2 Z_{23} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} V_1 - V_4 &= B_1 Z_{12} + B_2 Z_{23} + B_3 Z_{34} \\ V_1 - V_5 &= B_1 Z_{12} + B_2 Z_{23} + B_3 Z_{34} + B_4 Z_{45} \\ V_1 - V_6 &= B_1 Z_{12} + B_2 Z_{23} + B_5 Z_{56} \end{aligned} \quad (6)$$

Persamaan (6) tersebut di atas dapat dituliskan dalam bentuk lain seperti dibawah ini :

$$\begin{bmatrix} V_1 \\ V_1 \\ V_1 \\ V_1 \\ V_1 \end{bmatrix} - \begin{bmatrix} V_2 \\ V_3 \\ V_4 \\ V_5 \\ V_6 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} Z_{12} & 0 & 0 & 0 & 0 \\ Z_{12} & Z_{23} & 0 & 0 & 0 \\ Z_{12} & Z_{23} & Z_{34} & 0 & 0 \\ Z_{12} & Z_{23} & Z_{34} & Z_{45} & 0 \\ Z_{12} & Z_{23} & 0 & 0 & Z_{56} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} B_1 \\ B_2 \\ B_3 \\ B_4 \\ B_5 \end{bmatrix} \quad (7)$$

Persamaan (8) dapat ditulis dalam bentuk umum Persamaan arus Cabang ke Tegangan Bus (ACTB) sebagai berikut:

$$[\Delta V] = [ACTB][B] \quad (8)$$

Matriks BIAC dan ACTB dibentuk berdasarkan struktur topologi sistem distribusi. Penggabungan persamaan (6) dan (8) akan menghasilkan persamaan sebagai berikut:

$$[ALD] = [ACTB][BIAC] \quad (9)$$

$$[\Delta V] = [ACTB][BIAC][I]$$

$$[\Delta V] = [ALD][I] \quad (10)$$

Matriks $[\Delta V]$ adalah matriks jatuh tegangan dari bus sumber ke bus beban dalam sistem berdasarkan metode injeksi arus.

Penyelesaian aliran daya sistem distribusi radial dapat diperoleh secara iteratif dengan prosedur perhitungan berdasarkan persamaan (1), pers. (9), pers. (10) ke persamaan sebagai berikut:

$$[V_i^{(k+1)} = [V_1] - [\Delta V_i^{(k+1)}]] \quad (11)$$

Aliran daya aktif dan reaktif diperoleh melalui pers. Berikut:

$$P_{ij} = \text{real}[V_i\{(V_i - V_j)y_{ij}\}^*] \quad (12)$$

$$Q_{ij} = \text{imag}[V_i\{(V_i - V_j)y_{ij}\}^*] \quad (13)$$

Total rugi-rugi daya aktif yang terjadi pada jaringan dinyatakan sebagai berikut:

$$P_{\text{loss}} = \text{real}\{V_{ss}\sum_{j \in \text{css}}[(V_{ss} - V_j)y_{ss,j}]^* \sum_{j=1}^N PD_j\} \quad (14)$$

Dimana $V_i^{(k+1)}$ adalah Tegangan bus ke- i pada iterasi ke- k , V_i adalah Tegangan bus ke- i , V_1 adalah Tegangan bus sumber, V_j adalah Tegangan bus ke- j , Y_{ij} adalah Admitansi, P_{loss} adalah Total rugi-rugi daya aktif pada jaringan, V_{ss} adalah Tegangan bus sumber (Gardu Hubung), PD_j adalah Beban aktif pada bus ke- j , N adalah Jumlah bus, P_{loss} adalah total rugi-rugi daya aktif.

2.2 Tahapan Algoritma Genetika

Algoritma Genetika adalah teknik pencarian yang terinspirasi dari teori evolusi milik Charles Darwin. Metode kecerdasan buatan ini diperkenalkan oleh David Goldberg melalui penelitian salah satu mahasiswanya John Holland tahun 1960 [11] dan [3].

Algoritma ini memanfaatkan proses seleksi yaitu proses evolusi dimana individu-individu secara terus menerus mengalami perubahan gen untuk menyesuaikan diri dengan lingkungan.

Jika sebuah individu dapat sukses di setiap kompetisi memperebutkan makanan dan mencari pasangan, kemungkinan individu tersebut akan menghasilkan keturunan yang lebih baik daripada individu yang buruk dalam hal kinerja. Keturunan-keturunan yang lebih baik lagi bisa dihasilkan dikarenakan adanya persebaran individu-individu terbaik. Setiap generasi harus menyesuaikan diri dengan kondisi lingkungan yang mungkin berbeda dengan kondisi lingkungan yang dihadapi generasi sebelumnya.

Algoritma genetika dapat menyelesaikan permasalahan yang mempunyai ruang pencarian sangat besar dan kompleks. Algoritma Genetika dapat menangani suatu permasalahan yang jika diselesaikan dengan metode konvensional matematis belum dapat menghasilkan solusi terbaik. Algoritma genetika dapat menyelesaikan permasalahan yang mempunyai kemungkinan solusi yang tak hingga dan solusi “real time” yang berubah-ubah secara cepat sesuai kondisi yang ada. Berikut adalah tahapan dari Algoritma Genetika yang digunakan dalam penelitian ini:

2.2.1 Pembangkitan Populasi Awal

Sejumlah bilangan/sejumlah bit akan dibangkitkan secara acak untuk mewakili tiap kromosom. Ukuran sebuah populasi bergantung dari jumlah kromosom yang ada didalamnya. Setiap Individu terdiri dari sejumlah gen berupa nilai biner yang telah dibangkitkan secara acak. Panjang bit atau jumlah nilai biner, satu kapasitor dan satu lokasi direpresentasikan dalam kromosom dengan panjang 16 bit. Satu populasi berisi 30 Individu.

2.2.2 Teknik Encoding dan Decoding

Teknik *encoding* yang berguna mengodekan nilai gen-gen pembentuk individu. Sedangkan teknik *decoding* berguna untuk mendekode gen-gen pembentuk individu-individu agar nilainya tidak melampaui range/batasan yang telah dibuat dan sekaligus menjadi nilai variabel yang akan dicari solusi permasalahannya. Jika nilai variabel x yang telah dikodekan tersebut diubah menjadi $[r_b \ r_a]$ dimana r_b adalah batas bawah dan r_a adalah batas atas maka dapat dilakukan konversi nilai-nilai variabel diatas hingga berada dalam range yang baru $[r_b \ r_a]$ disebut *Decoding*. Teknik *Decoding* menggunakan teknik *decoding* Bilangan Biner [11].

2.2.3 Pencarian Nilai Fitness

Nilai fitness menyatakan nilai dari fungsi objektif. Algoritma genetika akan berusaha memaksimalkan nilai fitness. Jika nilai maksimal yang harus didapat, maka nilai fungsinya adalah nilai fitness itu sendiri, tetapi jika ingin mencari nilai yang paling minimal maka harus dilakukan invers terhadap fungsi itu.

Sedangkan nilai fitness yang digunakan adalah:

$$F = \frac{1}{\min F(x) + \epsilon} \tag{14}$$

Dengan ϵ merupakan bilangan kecil untuk menghindari agar tidak terjadi pembagian oleh nol dan x adalah individu.

Dalam studi kasus ini, fungsi objektif adalah total rugi daya seperti pada persamaan berikut :

$$\text{Min } f(x) = \text{Min } \sum P_{loss} \tag{15}$$

Dengan fungsi batasan (*constraints*) adalah batasan tegangan dan batas injeksi kVAR berdasarkan IEEE Std 1036-2010 seperti pada persamaan:

$$0,95 \text{ pu} \leq V_{i,j} \leq 1,05 \text{ pu} \tag{16}$$

$$\sum_{i=1}^M Q_i^c \leq Q_t; \quad Q_{i \min} \leq Q_i \leq Q_{i \max} \tag{17}$$

Analisa Aliran Daya menggunakan metode Injeksi Arus atau BFS menjadi metode untuk mendapatkan nilai fitness tiap individu/evaluasi Individu.

2.2.4 Elitisme

Proses elitisme dilakukan untuk menyalin individu dengan nilai fitness terbesar sebanyak satu jika banyaknya individu dalam populasi bernilai ganjil dan sebanyak dua jika banyaknya individu bernilai genap, yang hasil proses elitisme disimpan dalam variabel temporeri.

2.2.5 Metode Roulette Wheel

Untuk penskalaan nilai-nilai fitness dari individu berfitness terbesar sampai terkecil menggunakan *Linear Fitness Ranking* [11]. Setelah penskalaan, dilakukan seleksi orangtua. Jika probabilitas individu ke- $i <$ bilangan random yang dibangkitkan 1-2 kali maka individu itulah yang terpilih, ini merupakan metode *Roulette-Wheel*. Metode *Roulette Wheel* didasarkan pada prinsip Roda Roulette, tiap individu akan ditempatkan pada potongan-potongan dalam lingkaran roda itu, yang proporsional sesuai nilai fitnessnya.

2.2.6 Pindah Silang (Crossover)

Jika bilangan random r dalam interval $[0, 1]$ yang dibangkitkan nilainya lebih kecil dari probabilitas tertentu $prob$ atau $r < prob$. Biasanya nilai $prob$ dipilih mendekati 1. Dalam penelitian ini $prob$ atau probabilitas $crossover$ digunakan adalah 0,8 untuk menghindari kemungkinan semua individu dalam populasi terkena proses ini. Cara yang paling sederhana adalah pindah silang satu titik potong yang dilakukan secara random. Hasil perpindahan menghasilkan anak-anak akan disimpan variabel temporari. Kemudian bangkitkan bilangan r maka akan menghasilkan individu-individu yang akan menjadi orangtua. Jika nilai $r > prob$ maka individu-individu yang menjadi orangtua disalin nilai gennya menjadi nilai gen anak-anak.

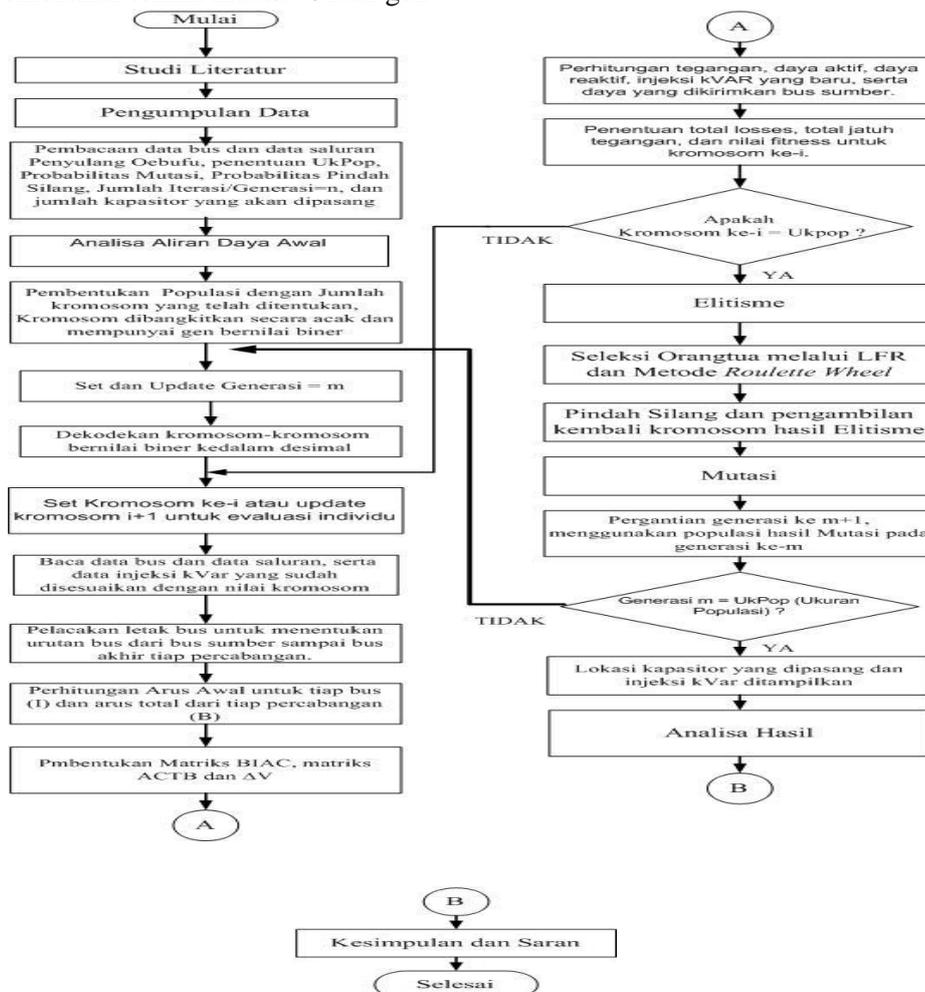
2.2.7 Mutasi

Setelah dilakukan proses pindah silang, individu anak-anak hasil proses pindah silang yang tersimpan dalam variabel temporari dan individu hasil elitisme dikenakan teknik mutasi. Untuk gen

bertipe biner, mutasi dilakukan dengan menukar bit 0 ke bit 1 atau sebaliknya pada gen tertentu. Probabilitas mutasi adalah $1/nbit$ yaitu $1/16 = 0,06$.

2.2.8 Pergantian Populasi

Individu-individu hasil mutasi ini menjadi individu-individu dengan populasi baru dan dikenal sebagai generasi kedua. Selanjutnya dilakukan proses yang sama dimulai dari seleksi fitness sampai teknik mutasi pada generasi baru ini untuk mencapai generasi selanjutnya. Proses ini dilakukan secara berulang sampai mencapai generasi ke- n dimana generasi ke- n adalah generasi yang telah ditetapkan atau jika nilai fitness sudah mencapai nilai terbaik secara konstan dan tidak lagi membutuhkan sejumlah iterasi atau pembangkitan generasi. Jumlah Iterasi = 100 atau hasil akan konvergen ketika total nilai fitness = 0.



Gambar 1. Diagram Alir Penelitian

2.3 Pengumpulan Data

Penelitian ini mengambil studi kasus di penyulang Oebufu di bawah kontrol operasi PT. PLN (Persero) ULP Kupang. Data penelitian yang didapatkan dari PT. PLN (Persero) ULP Kupang antara lain, data *Single Line Diagram* (SLD) Sistem Kupang, SLD Penyulang Oebufu, data beban Penyulang Oebufu, data saluran penyulang Oebufu. Selain itu observasi lapangan dilakukan dengan pengamatan langsung kondisi penyulang Oebufu untuk memperbarui data yang sudah didapat agar sesuai kondisi yang ada dilapangan.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1 Gambaran Umum Penyulang Oebufu

Penyulang Oebufu merupakan salah satu dari 17 penyulang tersebut dan menerima suplai daya dari GI Maulafa di transformator daya 30 MVA, juga terhubung dengan Gardu Hubung Tenau. Penyulang Oebufu mempunyai struktur jaringan berbentuk radial yang terhubung dengan beberapa penyulang lain. Penyulang Oebufu melayani daerah Kota Kupang dan Kecamatan Taebenu, Kabupaten Kupang. Mempunyai panjang 49,66 kms, Penyulang Oebufu terdiri dari 97 buah gardu dengan kapasitas berbeda-beda dan 36 buah percabangan di sepanjang saluran, dengan total kapasitas gardu distribusi 12310 kVA. Penyulang Oebufu dalam penyalurannya menggunakan jenis SKTM (Saluran Kabel Tegangan Menengah) dan SUTM (Saluran Udara Tegangan Menengah) dengan jenis penghantar MVTIC (*Medium Voltage Twisted Insulated Cable*) untuk SKTM, AAAC (*All Alloy Aluminium Conductor*) dan AACS (*All Alloy Aluminium Conductor Shielded*) untuk SUTM dengan ukuran diameter penghantar 150 mm², 95 mm², 70 mm², 35 mm².

3.2. Persiapan Simulasi

Dalam penelitian ini, metode algoritma genetika digunakan untuk menentukan lokasi pemasangan dan kapasitas kapasitor yang digunakan. Pengujian dilakukan 4 tahap yaitu: pertama pengujian tanpa kapasitor terpasang, kedua pengujian dengan 1 buah kapasitor terpasang, ketiga pengujian dengan 2 buah kapasitor terpasang, dan keempat pengujian dengan 3 buah kapasitor terpasang. Dibatasi sampai pengujian 3 buah kapasitor untuk mempermudah analisa, serta pengujian lebih dari 3 kapasitor belum tentu memberikan penurunan total rugi daya yang lebih baik dari pengujian 1 sampai 3 buah kapasitor serta terlalu banyak kapasitor mempengaruhi nilai total daya reaktif dan total bebam reaktif menjadi negatif walaupun faktor daya tetap mendekati 1. Metode algoritma genetika digunakan untuk pengujian dengan *n* buah kapasitor dan metode BFS digunakan untuk semua tahapan.

Untuk mempermudah analisa, setiap *n* buah kapasitor akan diambil nilai terbaik berdasarkan total rugi daya aktif terbaik yang didapatkan setelah menjalani simulasi. Setiap pengujian *n* buah kapasitor akan diuji beberapa kali sampai didapati hasil rugi daya yang minimum. Setelah itu akan dianalisis hasil penempatan *n* buah kapasitor dan pengaruhnya terhadap profil tegangan tiap bus dan total rugi daya aktif yang dihasilkan.

3.2 Hasil Sebelum dan Sesudah pemasangan *n* Kapasitor

3.2.1 Pengujian Berulang Penentuan Lokasi dan Kapasitas *n* buah Kapasitor.

Menggunakan parameter yang telah ditentukan sebelumnya, algoritma genetika akan diuji secara berulang untuk mendapatkan *n* buah kapasitor dengan lokasi dan kapasitas yang sesuai yang jika dipasang menghasilkan total rugi daya yang terkecil dibanding sebelumnya.

Tabel 1. Pengujian Berulang Penentuan Lokasi dan Kapasitas 1 buah Kapasitor

No	Total Daya Aktif	Fitness Terbaik	Konvergen pada Generasi ke-	Lokasik e-1	kapasitas ke-1	fitness rata2	total kVar
1	41,55 39,690	27,7978	100	131	784,6466	4,3132	784,64 66
2	2	15,3254	100	132	792,0952	3,5305	792,09 52

Tabel 2. Pengujian Berulang Penentuan Lokasi dan kapasitas 2 buah kapasitor

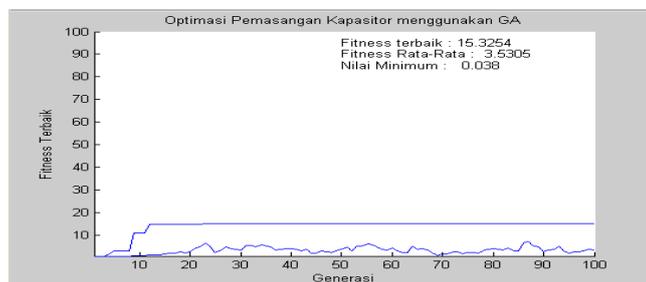
No	Total Daya Aktif	Fitness Terbaik	Konvergen pada Generasi ke-	lokasi 1	lokasi 2	kapasitas 1	kapasitas 2	fitness rata2	total kVar
1	568,4648	33,0464	100	90	91	557,6286	756,8459	3,6206	1314,4745
2	38,7846	32,8161	100	132	130	796,8163	620,52	5,5249	1417,3363
3	38,1804	29,23	100	61	131	444,4519	797,2626	7,128	1241,7145

Tabel 3. Pengujian Berulang Penentuan Lokasi dan Kapasitas 3 buah kapasitor.

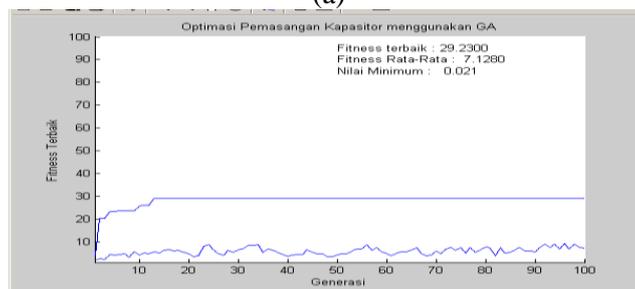
No	Total Daya Aktif	Fitness Terbaik	Konvergen pada Generasi ke-	Lokasi 1	lokasi 2	lokasi 3	kapasitas 1	kapasitas 2	kapasitas 3	fitness rata2	total kVar
1	209,0371	58,1137	100	84	12	132	596,3945	287,3672	471,5286	8,0349	1355,29
2	730,7033	66,772	100	63	67	96	414,7964	473,2742	617,8024	9,6378	1505,873
3	673,8438	75,2962	100	85	61	130	561,3777	464,9727	784,9442	9,2087	1811,295
4	560,9695	75,857	100	82	97	80	694,3214	450,0954	547,0657	6,5722	1691,483
5	31,1601	71,7883	100	131	127	64	789,3875	772,5761	458,0299	5,9535	2019,994

Berikut Grafik Fungsi Fitness yang terbentuk dari pengujian ke-2 dari penentuan 1 buah kapasitor, pengujian ke-3 dari penentuan 2

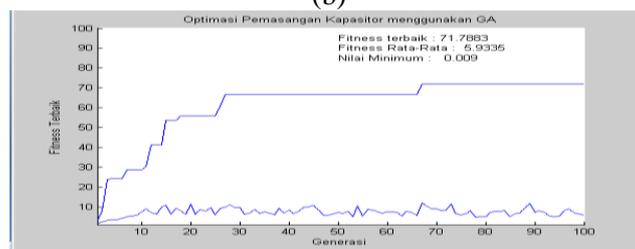
buah kapasitor, dan pengujian ke-5 dari penentuan 3 buah kapasitor.



(a)



(b)



(c)

Gambar 3. Grafik Fitness (a) penentuan 1 buah kapasitor, (b) 2 buah Kapasitor, (c) 3 buah kapasitor.

Berdasarkan Tabel 1, 2, 3 nilai total daya aktif di tabel 1 pada pengujian ke-1 dan ke-2 berdekatan, dan pengujian setelah pengujian ke-2 diabaikan karena nilai total rugi daya yang didapatkan melampaui nilai yang didapat sebelumnya. fitness terbaik cenderung mengecil bersesuaian dengan nilai total rugi daya aktif yang dihasilkan. Sama halnya dengan penentuan 2 buah kapasitor di tabel 2 dan pengujian 3 buah kapasitor di tabel 3 dimana pengujian setelah pengujian ke-3 dan ke-5 diabaikan.

Berdasarkan Grafik (a), (b), (c) diatas terlihat Fitness terbaik menemukan kestabilan sebelum generasi ke-20. Fitness terbaik terus naik nilainya melampaui jauh fitness rata-rata yang cenderung konstan di range tertentu, ini membuktikan probabilitas *crossover* 0,8 dan probabilitas mutasi 0,06 belum tentu mempengaruhi individu terbaik untuk terus bertahan tanpa terkena pindah silang dan mutasi, apabila individu terbaik mempunyai probabilitas pindah silangnya lebih dari 0,8 dan probabilitas mutasi tiap gennya lebih dari 0,6, juga individu terbaik ini tidak melewati proses seleksi orangtua di generasi/iterasi selanjutnya karena tersimpan di variabel temporari.

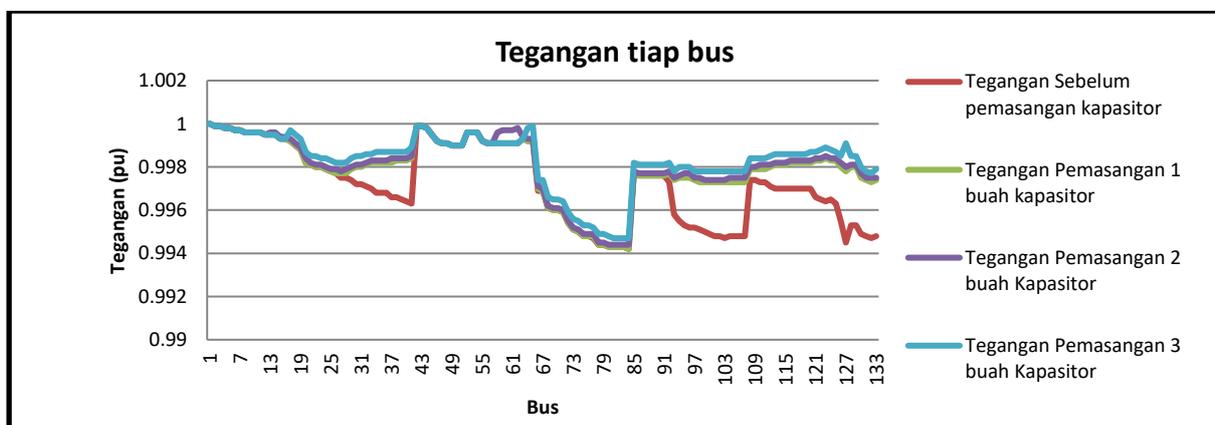
Berikut ini adalah tabel-tabel yang menunjukkan pengaruh pemasangan *n* buah kapasitor terhadap saluran, juga grafik perubahan profil tegangan sebelum dan sesudah pemasangan Kapasitor

Tabel 4. Pengaruh Sebelum dan sesudah Pemasangan *n* buah Kapasitor terhadap Saluran

Pengaruh Pengujian	Sebelum pemasangan	1 buah	2 buah	3 buah
Lokasi dan kapasitas kVAR kapasitor	-	Bus 132 (792,0952)	Bus 61 (444,4519), Bus 131 (797,2626)	Bus 131 (789,3875), bus 127 (772,5761), bus 64

				(458,0299)
Total Kapasitas kVAR kapasitor	-	792,0952	1241,7145	2019,994
Total Rugi Daya (kW)	771,9928	39,0962	38,1804	31,1601
Tegangan Minimum (pu)	Bus 84 (0,9942)	Bus 84 (0,9943)	Bus 81-84 (0,9944)	Bus 84 (0,9947)
Tegangan pada bus lokasi kapasitor (pu)	-	Bus 132 (0,9973)	Bus 61 (0,9997) Bus 131 (0,9975)	Bus 131 (0,9978), Bus 127 (0,9991), Bus 64 (0,9998)
Total Beban Aktif (kW)	6182,35	6182,35	6182,35	6182,35
Total Beban Reaktif (kVAR)	2770,259	1978,1638	1528,5445	750,2655
Total daya aktif yang dikirim (kW)	6188	6195,3778	6196,0838	6200,9864
Total daya reaktif yang dikirim (kVAR)	2774	1985,4826	1536,1773	759,6814
Faktor Daya (Cos θ = tan ⁻¹ daya reaktif dikirim/daya aktif dikirim)	0,91257	0,952	0,9706	0,99257

Berikut Grafik Perubahan Tegangan sepanjang saluran sebelum dan sesudah pemasangan *n* buah kapasitor



Gambar 4. Grafik perubahan profil tegangan tiap bus sebelum dan sesudah pemasangan *n* buah kapasitor.

Berdasarkan Tabel 4, perubahan Total rugi daya terjadi setelah pemasangan kapasitor dimana terjadi penurunan signifikan dari sebelum pemasangan kapasitor yang adalah 771,9928 kW menjadi 39,0962 kW saat memasang 1 buah kapasitor berkapasitas 792,0952 di bus 132, penurunan bertahap sampai 31,1601 kW saja terjadi saat memasang 2 buah dan 3 buah kapasitor dimana ada satu bus lokasi yang sama yaitu di bus 131 dengan kisaran kapasitas 700-800 kVAR. Pada tabel 1 juga sebenarnya sudah ditentukan bus 131 sebagai bus lokasi dengan kapasitas kapasitor 786,6466 kVAR tetapi tidak memberikan penurunan rugi daya yang lebih besar dibandingkan bila dibandingkan bila dipasang di bus 132 untuk 1 buah kapasitor saja. Hal ini menandakan sebenarnya memasang 1 buah kapasitor saja di bus 131 atau di bus 132 memberikan penurunan total rugi daya yang besar, sedangkan pemasangan kapasitor tambahan turut membantu penurunan rugi daya walaupun penurunannya kecil.

Dalam tabel 4, tegangan minimum tetap dimiliki bus 84 namun turut mengalami kenaikan bersamaan kenaikan nilai tegangan di bus lain setelah dipasang n buah kapasitor. Total beban aktif tetap pada nilai 6182,35 kW sebelum dan sesudah dipasang kapasitor, total beban reaktif mengalami penurunan baik setelah pemasangan kapasitor, sebelum pemasangan kapasitor total beban reaktif adalah 2770,259 kVAR dan penurunannya mencapai 750,2655 kVAR setelah dipasang 3 buah kapasitor dengan total kapasitas 2019,994 kVAR. Juga total daya reaktif yang dikirim mengalami penurunan bertahap mulai dari sebelum pemasangan 2774 kVAR sampai pemasangan 3 buah kapasitor menghasilkan penurunan yang paling baik mencapai 759,6814 kVAR, sedangkan kenaikan yang bertahap tetapi kecil terjadi pada nilai total daya aktif yang dikirim dari sebelum pemasangan kapasitor adalah 6188 kW menjadi 6200,9864 kW setelah dipasang 3 buah kapasitor, faktor daya juga meningkat dari sebelum pemasangan kapasitor 0,91257 yang menandakan sistem punya faktor daya yang bagus naik bertahap mencapai 0,99257 setelah pemasangan 3 buah kapasitor yang menandakan sistem mempunyai faktor daya yang sangat baik hampir mencapai 1. Hal ini menandakan kapasitor mampu menjadi kompensator daya reaktif untuk mensuplai daya reaktif ke beban sehingga mengurangi kerja generator memproduksi daya reaktif untuk disuplai. Hanya saja perlu dilihat lagi bagaimana pengaruh pemasangan 3 buah kapasitor yang

mampu memberikan nilai yang paling baik terhadap beberapa parameter terhadap harmonisa listrik.

Berdasarkan gambar 3. Perubahan profil tegangan sebelum dan sesudah pemasangan sampai 3 buah kapasitor paling signifikan terjadi di bus 27 sampai bus 41 dan bus 98 sampai bus 133, hal ini dikarenakan pemasangan kapasitor di salah satu bus yaitu bus 131 untuk 2 buah dan 3 buah kapasitor dan di bus 132 untuk 1 buah kapasitor mampu menaikkan tegangan sekitar bus tersebut. Selain itu bus 27 sampai bus 41 dipetakan dalam jalur utama saluran yang sedangkan bus 131 dan bus 132 adalah dipetakan berada pada percabangan bus 27 - bus 41. Sedangkan bus-bus lain mengalami kenaikan profil tegangan yang kecil sekalipun di bus 64 dan bus 61 menjadi salah satu lokasi pemasangan kapasitor untuk pemasangan 2 dan 3 buah kapasitor.

Dari perubahan beberapa parameter diatas menandakan pemasangan 3 buah kapasitor menghasilkan perubahan nilai-nilai pada parameter-parameter yang perlu dihitung seperti total rugi daya, faktor daya, berdampak pula terhadap perubahan total daya reaktif yang dikirim, total beban reaktif, dan total daya aktif yang dikirim.

Pada penelitian ini juga hasil yang didapat algoritma genetika baik itu lokasi dan kapasitas kapasitor juga total rugi daya aktif akibat pengaruh pemasangan kapasitor dibandingkan dengan hasil yang didapat dari perhitungan manual berdasarkan *rule of thumb* atau menentukan kapasitas kapasitor yang dipasang berdasarkan 2/3 total beban reaktif saluran [1].

Tabel 5. Hasil perhitungan manual lokasi dan kapasitas n kapasitor dan pengaruhnya terhadap total rugi daya baru yang didapatkan.

Hasil Perhitungan dan Pengujian	1 buah kapasitor	2 buah kapasitor	3 buah kapasitor
ΔP_{ls} (selisih rugi daya sebelum dan sesudah pemasangan n buah kapasitor berdasarkan algoritma genetika)	0,949 pu	0,95 pu	0,959 pu
Kapasitas yang dapat terpasang	1846,839 3 kVar	1108,103 6 kVar/2 = 558,0514	791,502 kVAR / 3 = 263,834

		kVar untuk tiap kapasitor	kVAR untuk tiap kapasitor
Lokasi penempatan	Bus 115 (34,762 kms)	Bus 120 (39,728 kms) dan bus 73 (19,864 kms)	Bus 124 (42,558 kms), bus 87 (28,60 kms), Bus 19 (14,188 kms)
Rugi daya yang baru	91,0952 kW	401,4363 kW	447,756 kW

Berikut perhitungan manual untuk penentuan 3 buah kapasitor yang akan dipasang

Untuk nilai $\lambda = 0$ untuk beban terdistribusi merata, dan $\alpha = 1$

1) Perhitungan ΔP_{ls} penempatan 3 buah kapasitor berdasarkan algoritma genetika.

$$\Delta P_{ls} = \frac{P_{ls} - P'_{ls}}{P_{ls}} = \frac{771,9928 - 31,1601}{771,9928} = 0,959 \text{ pu.}$$

2) Perhitungan rasio kapasitas kapasitor (n=3 untuk 3 buah kapasitor)

$$C = \frac{2}{2.n+1} = \frac{2}{2.3+1} = \frac{2}{7} = 0,2857$$

Kapasitas yang dapat terpasang dari jumlah total beban reaktif

$$2/7 * \text{jumlah total beban reaktif} = 2/7 * 2770,259 \text{ kVar} = 791,502 \text{ kVar}$$

$$\text{Untuk masing-masing kapasitor} = 791,502/3 = 263,834 \text{ kVar untuk tiap kapasitor.}$$

3) Penentuan lokasi penempatan kapasitor (i=1, 2, 3,...)

$$X1 = \frac{1}{1-\lambda} - \frac{(2*i-1)C}{2(1-\lambda)} = 1 - \frac{(2*1-1)0,2857}{2(1-0)} = 0,857 \text{ pu (lokasi pertama)}$$

$$\text{Lokasi optimal} = 0,8 \text{ pu} * 49,66 \text{ kms} = 42,55862 \text{ (bus 124)}$$

$$X2 = \frac{1}{1-\lambda} - \frac{(2*i-1)C}{2(1-\lambda)} = 1 - \frac{(2*2-1)0,2857}{2(1-0)} = 0,572 \text{ pu (lokasi kedua)}$$

$$\text{Lokasi optimal} = 0,8 \text{ pu} * 49,66 \text{ kms} = 28,60 \text{ (bus 87)}$$

$$X3 = \frac{1}{1-\lambda} - \frac{(2*i-1)C}{2(1-\lambda)} = 1 - \frac{(2*3-1)0,2857}{2(1-0)} = 0,2857 \text{ pu (lokasi ketiga)}$$

$$\text{Lokasi optimal} = 0,8 \text{ pu} * 49,66 \text{ kms} = 14,188 \text{ (bus 19)}$$

4) Perhitungan ΔP_{ls} dan P'_{ls} baru setelah ditentukan lokasi dan kapasitas yang baru

$$\begin{aligned} \Delta P_{ls} &= 3 * \alpha * C \\ &* \{X1[(2 - X1) + \lambda * X1 - 5C] \\ &+ X2[(2 - X2) + \lambda * X2 - 3C] \\ &+ X3[(2 - X3) + \lambda * X3 - C]\} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} &= 3 * 1 * 0,2857 \{0,857 [(2-0,857) + 0 - 5*2/7] + \\ &0,572 [(2-0,572) + 0 - 3*2/7] + 0,2857 \\ &[(2-0,2857)+0 - 2/7] \} \\ &= 0,8571 \{0,857[(1,143)-1,428] + 0,572 [(1,428)- \\ &0,857] + 0,2857[(1,7143) \\ &-0,2857]\} \\ &= 0,8571 \{-0,244+0,326+0,408\} \\ &= 0,42 \end{aligned}$$

$$\Delta P_{ls} = \frac{P_{ls} - P'_{ls}}{P_{ls}}$$

$$\Delta P_{ls} * P_{ls} = P_{ls} - P'_{ls}$$

$$0,42 * 771,9928 = 771,9928 - P'_{ls}$$

$$P'_{ls} = 771,9928 - 324,236$$

$$P'_{ls} = 447,755824 \text{ kW.}$$

$$P'_{ls} = 447,756 \text{ kW.}$$

Setelah membuat perhitungan manual diatas dan berdasarkan tabel 5 bila dibandingkan hasil yang didapat algoritma genetika, hasil yang didapat algoritma genetika karena ukuran kapasitor yang dipasang sesuai dengan aturan IEEE Std 1036-2010 bahwa untuk saluran 3 fasa bertegangan 20 kV hanya bisa dipasang kapasitor berkapasitas 150-800 kVAR. selain itu hasil perhitungan manual memberikan bus-bus yang berbeda dan tidak ada acuan bus tertentu bahwa cukup memasang kapasitor berkapasitas tertentu di bus tersebut sudah memberikan penurunan rugi daya yang signifikan.

4. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian diatas, maka dapat disimpulkan beberapa hal:

1. Dalam pengujian aliran daya untuk kondisi sistem tanpa kapasitor terpasang sebagai kondisi awal, didapati besar total rugi daya 771,9928 kW dengan tegangan minimum didapat pada bus 84 dengan magnitud tegangan 0,9942 pu atau 19,884 kV dengan jarak antara bus 1 ke bus 84 adalah 26,724 kms dan faktor daya adalah 0,91257.
2. Algoritma genetika digunakan dalam fungsinya menentukan lokasi dan kapasitas n buah kapasitor yang jika dipasang ke sistem mampu menghasilkan total rugi daya terkecil. Hasil terbaik yang didapat dari pengujian ke-3 menunjukkan, algoritma genetika memberikan hasil total rugi daya mencapai 31,1601 kW dengan kapasitor pertama berkapasitas 789,3875 kVar dipasang pada bus 131 berjarak 27,37088 kms dari sumber, kapasitor kedua berkapasitas 772,5761 kVar dipasang pada bus 127 berjarak 46,17088 kms, kapasitor ketiga berkapasitas 458,0299 dipasang pada bus bus 65

berada pada jarak 5,587 kms, sedangkan perhitungan manual memberikan hasil total rugi daya 447,756 kW dengan kapasitas ketiga kapasitor sama yaitu 263,834 kVar dan dipasang pada bus 124 berjarak 44,558 kms, bus 87 berjarak 28,866 kms, dan bus 19 berjarak 14,337 kms dari sumber.

3. Injeksi daya reaktif oleh kapasitor dapat mempengaruhi profil tegangan sekitar bus lokasi pemasangan serta mengurangi pemakaian daya reaktif dan pengiriman daya reaktif. Pada pengujian 3 buah kapasitor, pemasangan ketiganya mampu menaikkan profil tegangan sekitar bus 131, 127, dan bus 64, serta mengurangi beban reaktif mencapai 750,2655 kVar dan daya reaktif yang dikirim mencapai 759,6814 kVar, dan faktor daya baru naik mencapai 0,99257.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] A. Antasena, "Analisis Susut Daya Dan Alternatif Perbaikan Pada Penyulang Ceko Di Pln Rayon Pangkalpinang," In *Proceedings Of National Colloquium Research And Community Service*, 2017.
- [2] S. W. Habsoro, A. Nugroho, and B. Winardi, "Analisa Penempatan Kapasitor Bank Untuk Perhitungan Drop Voltage Pada Feeder Batang 02 Tahun 2012-2016 dengan Software Etap 7.0. 0," *Transient: Jurnal Ilmiah Teknik Elektro*, vol. 2, pp. 16-23, 2013.
- [3] I. Robandi, "Desain sistem tenaga modern," Penerbit ANDI, Yogyakarta, 2006.
- [4] M. Saukani, E. A. Hakim, and I. Pakaya, "Analisa Perbandingan Aliran Daya Optimal Mempertimbangkan Biaya Pembangkitan Dan Kestabilan Daya Menggunakan Particle Swarm Optimization Dan Algoritma Genetika," in *Seminar Nasional Teknologi dan Rekayasa (SENTRA) 2016*, 2016, pp. IV-77-IV-82.
- [5] I. N. Budiastara, O. Penangsang, and M. H. Purnomo, "Optimasi Jaringan Distribusi Sekunder untuk Mengurangi Rugi Daya Menggunakan Algoritma Genetika," in *Seminar Nasional Aplikasi Teknologi Informasi (SNATI)*, 2006.
- [6] S. Yunus, H. D. Laksono, and P. Nidya, "Memperbaiki Tegangan dan Rugi-rugi Daya pada Sistem Transmisi dengan Optimasi Penempatan Kapasitor menggunakan Algoritma Genetika," *Jurnal Nasional Teknik Elektro*, vol. 5, pp. 290-296, 2016.
- [7] E. Wijanarko, T. Sukmadi, and A. Nugroho, "Optimasi Penempatan Kapasitor Shunt Untuk Perbaikan Daya Reaktif Pada Penyulang Distribusi Primer Radial Dengan Algoritma Genetik," Jurusan Teknik Elektro Fakultas Teknik Undip, 2011.
- [8] N. A. Basyarach, "Optimasi lokasi dan kapasitas kapasitor pada kondisi beban berubah terhadap waktu untuk minimisasi rugi-rugi energi menggunakan algoritma accelerated particle swarm optimization," Institut Teknologi Sepuluh Nopember, 2017.
- [9] J.-H. Teng, "A direct approach for distribution system load flow solutions," *IEEE Transactions on power delivery*, vol. 18, pp. 882-887, 2003.
- [10] R. S. Ruzi, "Analisis dan Evaluasi Kestabilan Tegangan dengan Metode Continuation Power Flow (CPF) pada Sistem Microgrid," Institut Teknologi Sepuluh Nopember, 2016.
- [11] I. M. S. Putra, "Penerapan Algoritma Genetika Dan Implementasi Dalam MATLAB," vol. 53, pp. 1689-1699.