

# Optimasi Penempatan *Recloser* untuk Meningkatkan Keandalan Menggunakan Metode *Virus Evolutionary Genetic Algorithm (VEGA)*

Novadianto Yudha Irawan<sup>1</sup>, Anak Agung Ngurah Amrita<sup>2</sup>, Widyadi Setiawan<sup>3</sup>

**Abstract** — *Kutampi Diesel Power Plant that supplies the Lembongan Island electrical system has a reliability value index that has not met the standard with SAIDI 95.85 hours / customer / year and SAIFI 76 times / customer / year while the WCS standard for SAIDI is 2.5 hours / customer / year and SAIFI is 3 times / customers / year. Reliability value can be improved one of them by adding recloser. The addition of the recloser should pay attention to the area of frequent interference, the percentage of load and impedance of the electricity system. The VEGA method was used to determine the optimal recloser location by minimizing the SAIDI and SAIFI values. The result of the optimization method using VEGA shows optimal recloser location in the group 5 with the highest fitness 8,8396 with SAIDI 0,0070 hour / customer / year and SAIFI 0,0061 times / customer / year with program running time  $\pm 3,6$  minutes. These values indicate the VEGA method is more accurate than the fuzzy and genetic algorithm combination method but requires a longer running time.*

**Intisari** — PLTD Kutampi yang menyuplai sistem kelistrikan Pulau Lembongan memiliki nilai indeks keandalan yang belum memenuhi standar dengan SAIDI 95,85 jam/ pelanggan/ tahun dan SAIFI 76 kali/ pelanggan/ tahun sedangkan standar WCS adalah SAIDI 2,5 jam/ pelanggan/ tahun dan SAIFI 3 kali/ pelanggan/ tahun. Nilai keandalan dapat ditingkatkan salah satunya dengan memasang *recloser*. Pemasangan *recloser* harus memperhatikan daerah yang sering terjadi gangguan, persentase beban dan impedansi jaringan terpasang. Metode VEGA digunakan untuk menentukan letak *recloser* optimal dengan meminimalkan nilai SAIDI dan SAIFI. Hasil optimasi menggunakan metode VEGA menunjukkan letak *recloser* optimal berada pada grup 5 dengan *fitness* tertinggi 8,8396 dengan SAIDI 0,0070 jam/ pelanggan/ tahun dan SAIFI 0,0061 kali/pelanggan/tahun dengan waktu *running program*  $\pm 3,6$  menit. Nilai tersebut menunjukkan metode VEGA lebih akurat dibandingkan dengan metode kombinasi *fuzzy* dan algoritma genetika namun membutuhkan waktu *running* lebih lama.

**Kata Kunci** — Keandalan, Optimasi, *Recloser*, VEGA

<sup>1</sup> Mahasiwa, Program Studi Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Udayana, (e-mail: [yudhairawan28@yahoo.com](mailto:yudhairawan28@yahoo.com))

<sup>2</sup> Dosen, Program Studi Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Udayana (e-mail: [amrita\\_ngr@yahoo.com](mailto:amrita_ngr@yahoo.com))

<sup>3</sup> Dosen, Program Studi Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Udayana (e-mail: [widyadi@unud.ac.id](mailto:widyadi@unud.ac.id))

## I. PENDAHULUAN

Ketersediaan energi listrik sangat berperan untuk menunjang majunya suatu kawasan wisata. Pulau Lembongan sebagai salah satu destinasi wisata favorit harus memiliki sistem kelistrikan yang sesuai standar guna menunjang kemajuan pariwisata dan perekonomian warga lokal.

Tahun 2014 sistem kelistrikan Pulau Lembongan yang disuplai dari PLTD Kutampi memiliki nilai indeks keandalan yang belum memenuhi standar dengan SAIDI 95,85 jam/ pelanggan/ tahun dan SAIFI 76 kali/ pelanggan/ tahun sedangkan standar WCS adalah SAIDI 2,5 jam/ pelanggan/ tahun dan SAIFI 3 kali/ pelanggan/ tahun. Pemasangan *recloser* pada penyulang merupakan salah satu cara untuk meningkatkan nilai keandalan namun tidak bisa diletakkan disembarang titik melainkan harus memperhatikan daerah yang sering terjadi gangguan, persentase beban dan impedansi jaringan terpasang [1].

Permasalahan tersebut merupakan suatu hal yang kompleks, tidak linier, dan sulit didefinisikan sehingga dibutuhkan teknik komputasi yang berorientasi pada kecerdasan buatan. Teknik optimasi yang paling sering digunakan pada penempatan *recloser* adalah menggunakan metode *Genetic Algorithm* (GA). Sudah terdapat beberapa penelitian tentang optimasi penempatan *recloser* yang menggunakan metode GA dan pengembangannya. Penelitian yang terkait dengan penelitian ini yaitu oleh Putra pada tahun 2016 menggunakan metode kombinasi *fuzzy* dan GA untuk menentukan letak *recloser* optimal pada penyulang Lembongan yang belum terpasang *recloser*. Hasilnya didapatkan 10 referensi letak *recloser* kemudian dipilih 1 yang memiliki *fitness* paling tinggi sebagai letak *recloser* [2].

Penelitian ini menggunakan metode pengembangan GA yang disebut *Virus Evolutionary Genetic Algorithm* (VEGA). Penggunaan metode VEGA dipilih karena telah dilakukan penelitian oleh Amrita tahun 2007 dengan metode tersebut untuk menentukan posisi *bank* kapasitor yang bertujuan perbaikan faktor daya dan tegangan sehingga diperoleh rugi-rugi minimum. Hasil penelitian menunjukkan metode VEGA lebih dapat meminimalkan rugi-rugi daya dibandingkan dengan GA [3]. Penelitian ini diharapkan metode VEGA juga mampu memberikan nilai SAIDI dan SAIFI yang lebih kecil dibandingkan penelitian sebelumnya oleh Putra menggunakan metode kombinasi *fuzzy* dan GA sehingga didapat penempatan *recloser* yang optimal. Perbandingan hasil optimasi program VEGA dengan metode kombinasi *fuzzy* GA dikarenakan kedua penelitian tersebut menggunakan data yang sama yaitu penyulang Lembongan agar nantinya hasil optimasi dapat dibandingkan.



## II. RECLOSER

Pemutus Balik Otomatis (PBO) atau *recloser* adalah pemutus tenaga yang dilengkapi dengan peralatan kontrol dan relai penutup balik [4]. *Recloser* adalah suatu alat otomatis yang mempunyai kemampuan sebagai pemutus arus bila terjadi gangguan hubung singkat yang dilengkapi dengan alat pengindera arus gangguan dan merupakan peralatan pengatur kerja yang telah ditentukan apabila gangguan itu bersifat temporer maka *recloser* tidak membuka tetap (*lock out*), kemudian *recloser* akan menutup kembali setelah gangguan itu hilang. Apabila gangguan bersifat permanen, maka setelah membuka atau menutup balik sebanyak *setting* yang telah ditentukan kemudian *recloser* akan membuka tetap (*lock out*). Bentuk fisik *recloser* ditunjukkan pada gambar 1 [5].



Gambar 1: Bentuk fisik *recloser* dan kotak peralatan kontrol

Secara garis besar cara kerja *recloser* adalah sebagai berikut [4]:

1. Arus yang mengalir normal ketika tidak terjadi gangguan.
2. Ketika terjadi gangguan, arus yang mengalir melalui *recloser* membuka dengan operasi "fast".
3. Kontak *recloser* akan menutup kembali setelah beberapa detik, sesuai dengan *setting* yang ditentukan. Tujuan memberikan selang waktu beberapa detik adalah memberi kesempatan agar gangguan tersebut hilang dari sistem, terutama gangguan yang bersifat temporer.
4. Jika yang terjadi adalah gangguan permanen, maka *recloser* akan membuka dan menutup balik sesuai *setting* yang ditentukan dan kemudian *lock out* atau membuka permanen.
5. Setelah gangguan permanen dibebaskan oleh teknisi lapangan, baru dapat dikembalikan pada kondisi normal.

## III. INDEKS KEANDALAN SISTEM DISTRIBUSI

Indeks keandalan merupakan suatu indikator keandalan yang dinyatakan dalam suatu besaran probabilitas yang terdiri dari dari indeks titik beban dan indeks sistem yang dipakai untuk memperoleh pengertian yang mendalam ke dalam keseluruhan kinerja [6].

Laju kegagalan ( $\lambda$ ) adalah harga rata-rata dari jumlah kegagalan dalam suatu interval waktu tertentu. Ketidakterersediaan (U) adalah durasi gangguan dimana sistem tidak dapat menyuplai daya ke konsumen [7].

Untuk menghitung indeks keandalan penyulang per grup digunakan data indeks kegagalan peralatan sesuai SPLN No.59: 1985, "Keandalan Pada Sistem Distribusi 20 kV dan 6 kV" ditunjukkan pada tabel I [8]:

TABEL I  
DATA INDEKS KEGAGALAN PERALATAN JARINGAN DISTRIBUSI

Peralatan	$\lambda$ (kegagalan)	r (jam)	rs (jam)
Saluran Udara	0,2 km/tahun	3	0,15
<i>Circuit Breaker</i>	0,004 unit/tahun	10	0,15
<i>Sectionalizer</i>	0,003 unit/tahun	10	0,15
Trafo Distribusi	0,005 unit/tahun	10	0,15

Parameter  $\lambda$  dan U digunakan untuk menghitung nilai keandalan pada setiap peralatan yang terdapat pada jaringan distribusi. Perhitungan  $\lambda$  dan U pada setiap *load point* adalah:

- *Failure Rate load point* ( $\lambda_{LP}$ ) merupakan nilai penjumlahan  $\lambda$  tiap peralatan tenaga listrik yang ada pada jaringan distribusi seperti trafo distribusi, *circuit breaker*, maupun *sectionalizer* yang mempengaruhi titik beban yang sedang dihitung, sehingga didapatkan persamaannya sebagai berikut:

$$\lambda_{sys} = \sum_i \lambda_i \quad (1)$$

- *Unavailability load point* ( $U_{LP}$ ) merupakan nilai perkalian antara  $\lambda$  dengan r masing-masing peralatan yang mempengaruhi titik beban yang dihitung, sehingga didapatkan persamaannya sebagai berikut:

$$U_{sys} = \sum_i \lambda_i \cdot r_i \quad (2)$$

Dimana :

$\lambda_i$  =  $\lambda$  untuk peralatan i

$r_i$  = r untuk peralatan i

Parameter indeks keandalan pada penelitian ini digunakan SAIDI dan SAIFI:

- SAIDI (*System Average Interruption Duration Index*) Indeks ini didefinisikan sebagai nilai rata-rata dari total jumlah waktu kegagalan untuk setiap konsumen per satuan waktu. Persamaannya adalah [5]:

$$SAIDI = \frac{\sum U_i \cdot N_i}{\sum N_i} \quad (3)$$

- SAIFI (*System Average Interruption Frequency Index*). Indeks ini didefinisikan sebagai jumlah rata-rata kegagalan yang terjadi per pelanggan yang dilayani oleh sistem per satuan waktu. Persamaannya adalah [5]:

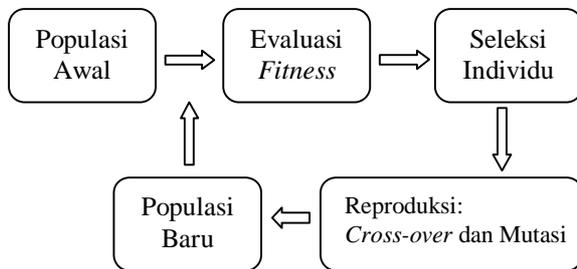
$$SAIFI = \frac{\sum \lambda_i \cdot N_i}{\sum N_i} \quad (4)$$

Dimana :

- $\sum \lambda_i . N_i$  = jumlah perkalian antara  $\lambda$  dengan jumlah pelanggan komponen  $i$
- $\sum U_i . N_i$  = jumlah perkalian antara  $U$  dengan jumlah pelanggan komponen  $i$
- $\sum N_i$  = jumlah total pelanggan suatu sistem

#### IV. METODE VEGA

Algoritma ini adalah penggabungan antara algoritma genetika dan infeksi *virus*. Algoritma genetika mempunyai siklus yang digambarkan seperti pada gambar 1. Tahap pertama dimulai dari membuat populasi awal secara acak, kemudian setiap individu dihitung nilai *fitness*-nya. Tahap selanjutnya adalah menyeleksi individu terbaik, kemudian dilanjutkan pada tahap reproduksi dengan melakukan *cross-over* dan dilanjutkan oleh proses mutasi yang akan membentuk populasi baru. Setelah terbentuk populasi baru akan dilakukan tahap yang sama seperti populasi sebelumnya. Proses tersebut akan berlangsung hingga generasi yang ditentukan [9].



Gambar 2. Proses Algoritma genetika oleh David Goldberg

Proses lengkap algoritma genetika akan dijabarkan sebagai berikut [10]:

- Teknik pengkodean  
 Teknik pengkodean adalah bagaimana mengkodekan gen yang merupakan bagian dari kromosom. Kromosom sendiri merupakan alternatif solusi dari permasalahan yang akan dicari nilai optimalnya. Gen dapat direpresentasikan dalam bentuk bit, bilangan *real*, daftar aturan, elemen permutasi, elemen program atau representasi lainnya yang dapat diimplementasikan untuk *operator* genetika [9].
- Membangkitkan populasi awal  
 Nilai gen yang menyusun kromosom digunakan nilai laju kegagalan ( $\lambda$ ) dan waktu ketidakterersediaan ( $U$ ) dengan rumus penyusun SAIDI dan SAIFI sebagai berikut:

$$SAIDI_1 = \frac{\lambda_{L1}.r_{L1}.m_{L1} + \dots + \lambda_{Ln}.r_{Ln}.m_{Ln}}{m_{L1} + m_{L2} + \dots + m_{Ln}} \quad (5)$$

$$SAIFI_1 = \frac{\lambda_{L1}.m_{L1} + \lambda_{L2}.m_{L2} + \dots + \lambda_{Ln}.m_{Ln}}{m_{L1} + m_{L2} + \dots + m_{Ln}} \quad (6)$$

- Nilai *fitness*  
 Nilai *fitness* merupakan nilai suatu individu yang dievaluasi berdasarkan suatu fungsi tertentu sebagai ukuran performansinya [11]. Tujuan dari permasalahan ini

adalah meminimalkan nilai SAIDI dan SAIFI, sehingga fungsi *fitness*-nya dirumuskan sebagai berikut:

$$f(x) = \frac{1}{SAIDI.SAIFI} \quad (7)$$

Nilai *fitness* yang didapat dari hasil perhitungan berdasarkan persamaan 7 akan didapatkan populasi baru yang disebut populasi pertama. Hasil tersebut kemudian dilanjutkan ke tahap seleksi yaitu seleksi *roulette wheel* dan *linier fitness ranking*.

- *Roulette wheel*  
 Merupakan metode seleksi yang paling sering digunakan untuk memilih dua buah individu secara acak yang akan dijadikan orang tua.
- *Linier Fitness Ranking (LFR)*  
 Tujuan seleksi ini untuk menghindari terjadinya *convergency premature* yang disebabkan oleh suatu individu memiliki nilai *fitness* paling tinggi yang kemudian memproduksi banyak anak pada generasi tertentu melalui proses pindah silang dan mutasi sehingga menyebabkan lokal optimum.
- Pindah Silang (*Cross Over*)  
 Pindah Silang merupakan proses memindah-silangkan bagian kromosom Bapak dan Ibu yang dipotong satu titik secara *random* sehingga setengah nilai dari Bapak digunakan dan sisanya dilanjutkan dengan nilai dari Ibu.
- Mutasi  
 Proses mutasi yang digunakan pada penelitian ini adalah pengkodean nilai yang dapat dilakukan dengan berbagai cara, salah satunya yaitu dengan memilih sembarang posisi gen pada kromosom, nilai yang ada tersebut kemudian ditambah atau dikurangi dengan suatu nilai terkecil tertentu yang diambil secara acak.  
 Contoh:  
 Kromosom sebelum mutasi : 0,43 0,09 0,51 0,11 0,94  
 Kromosom sesudah mutasi : 0,43 0,19 0,51 0,01 0,94
- Kondisi selesai  
 Jika batasan nilai yang ditentukan telah terpenuhi, maka algoritma genetika akan menghentikan proses pencariannya, tetapi jika belum terpenuhi maka algoritma genetika akan kembali ke evaluasi *fitness* dan kembali mengulang proses dari awal sampai generasi ke-n.

Proses algoritma genetika dalam 1 generasi berakhir pada proses mutasi, pada metode VEGA proses algoritma genetika berjalan sampai proses mutasi kemudian mulai diinfeksi *virus* pada generasi 2 dan selanjutnya. VEGA disusun dari 2 populasi yakni populasi *host* dan populasi *virus*. Populasi *host* sama dengan populasi yang ada pada algoritma genetika yakni kandidat solusi. Sedangkan populasi *virus* adalah substring dari populasi *host* yang akan menginfeksi populasi *host*.

Komputasi metode VEGA dilakukan dengan 2 tahapan proses seperti pada gambar 3. Tahap pertama adalah mensimulasikan proses evolusi dengan pindah silang dan mutasi sehingga memungkinkan pewarisan sifat secara vertikal dari *parent* ke *children*. Tahap kedua adalah penginfeksian *virus* secara *horizontal* [3].



A. Pewarisan Sifat secara Vertikal

Inisialisasi *host population* pada metode VEGA sama dengan inisialisasi populasi pada GA. Inisialisasi *virus population* dilakukan dengan mengambil acak 3 *host kromosom* dari *host population* (7,5% dari *host population*). Sedangkan inisialisasi gen *virus* dilakukan dengan *generating incorporation*. Pada *generating incorporation*, *virus* akan meng-copy beberapa bagian *host* gen secara acak, sesuai dengan *copy probability*-nya. *Copy probability* yang digunakan adalah 0,0001. Jika angka yang dibangkitkan secara acak kurang dari 0,001 maka gen *host* akan di-copy. Jika tidak, maka gen *virus* akan diisi dengan “\*” (*don't care*). Proses seleksi, pindah silang, dan mutasi, prosesnya sama dengan GA.

B. Penginfeksian *Virus* secara Horizontal

Sesuai dengan diagram alir pada gambar 3 setelah proses algoritma genetika selesai yaitu proses mutasi, maka seluruh *host individual* bereproduksi sebagai *children* untuk diinfeksi *virus*.

• Penginfeksian *Virus*

Setiap *virus* menginfeksi *host individual* dengan *reverse transcription* sesuai dengan *initial infection rate*-nya. *Initial infection rate* ditentukan sebesar 0,01. Pada *reverse transcription*, gen *virus* melakukan peng-copy-an ke gen *host* kecuali pada bagian yang ditandai dengan “\*”.

• *Fitness Virus*

*Fitness virus* dihitung dengan persamaan 8 dan 9:

$$fitvirus_{ij} = fithost_j - fithost_j \tag{8}$$

$$fitvirus_i = \sum_{j \in S} fitvirus_{ij} \tag{9}$$

Dengan:

- fithost<sub>j</sub> : harga *fitness host individual* j sebelum penginfeksian *virus*
- fithost<sub>j</sub> : harga *fitness host individual* j sesudah penginfeksian *virus*
- i : *virus number*
- S : satu *set host individual* yang diinfeksi oleh *virus* i

Dari persamaan tersebut suatu *virus* dinyatakan produktif jika *fitness virus*-nya bernilai negatif, sebaliknya dinyatakan tidak produktif jika *fitness virus*-nya bernilai positif. Apabila *fitness virus* bernilai negatif maka *infection rate*-nya akan ditambahkan sesuai dengan persamaan 10 baris pertama. Sedangkan apabila *fitness virus* bernilai positif maka *infection rate*-nya akan dikurangi sesuai dengan persamaan 10 baris kedua.

$$Infrate_{i,t+1} = \begin{cases} ((1 + \alpha) * Infrate_{i,t}) + Infrate_{i,t}, & \text{jika } fitvirus < 0 \\ ((1 - \alpha) * Infrate_{i,t}) + Infrate_{i,t}, & \text{jika } fitvirus > 0 \end{cases} \tag{10}$$

Dengan:

- $\alpha$  : koefisien berupa bilangan *real* dari 0 – 1
- t : *generation number*

• *Life Virus*

*Life virus* dihitung menggunakan persamaan 11.

$$life_{i,t+1} = r * life_{i,t} + fitvirus_i \tag{11}$$

Dengan:

- r : *life reduction* yang harganya sudah ditentukan

*Infection reduction* akan memastikan jika *virus* benar-benar berevolusi secara produktif (makin negatif dari generasi sebelumnya). *Life virus* untuk *virus* produktif cenderung bernilai negatif sehingga makin lama bertahan dalam tiap generasi. *Virus* dengan kondisi seperti ini akan melakukan *extending incorporation*. Sedangkan untuk *virus* yang tidak produktif akan diberi kesempatan memperbaiki diri. Apabila *life virus* berkembang ke arah negatif, maka *virus* akan melakukan *shortening incorporation*. Sebaliknya jika *life virus* berkembang ke arah positif maka *virus* akan melakukan *generating incorporation*.

• *Extending Incorporation*

Pada *extending incorporation*, *virus* akan melakukan peng-copy-an hanya pada gen *host* yang ditandai dengan “\*”. *Copy probability* yang digunakan pada penelitian ini sebesar 0,001. Jika angka acak yang dibangkitkan kurang dari *copy probability*, maka gen *host* akan di-copy. Jika tidak maka gen *virus* akan diisi dengan “\*”, sama dengan gen *virus* awal.

• *Shortening Incorporation*

Pada *shortening incorporation*, *virus* akan melakukan penambahan gen “\*” sesuai dengan *cut probability*-nya, kecuali pada gen yang mempunyai tanda “\*”. *Cut probability* yang digunakan pada penelitian ini adalah sebesar 0,001. Jika angka acak yang dibangkitkan kurang dari *cut probability*, maka gen *virus* akan diisi dengan “\*”. Jika tidak maka akan sama dengan gen *virus* awal.

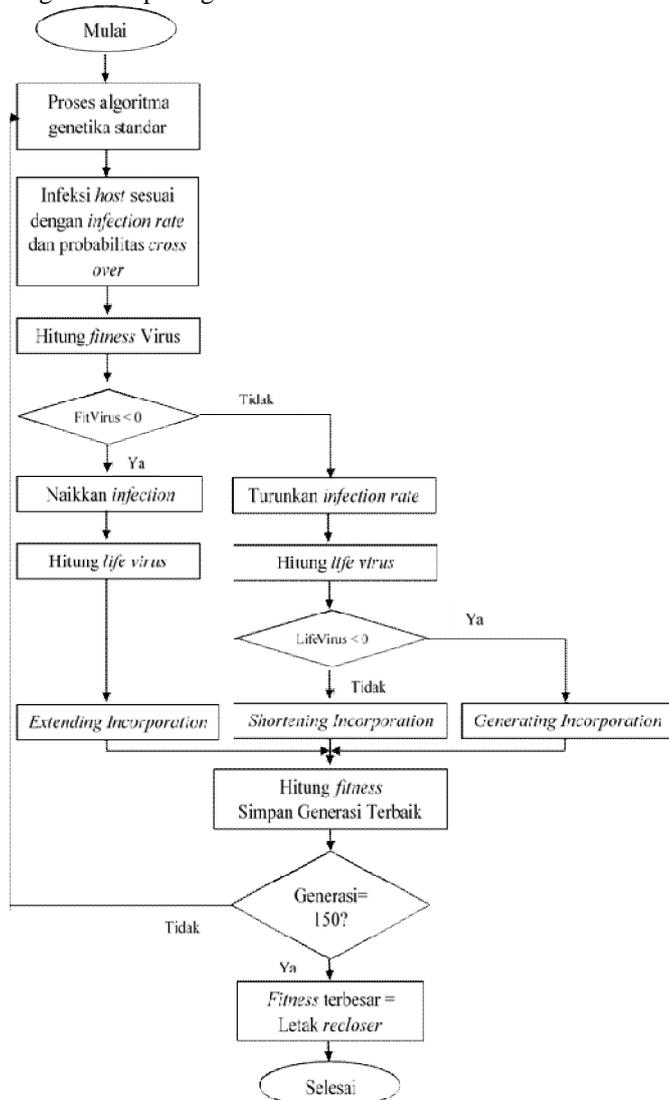
• *Generating Incorporation*

Pada *generating incorporation*, *virus* akan meng-copy beberapa bagian gen *host* secara acak sesuai dengan *copy probability*-nya. *Copy probability* yang digunakan pada penelitian ini adalah sebesar 0,001. Jika angka acak yang dibangkitkan kurang dari *copy probability*, maka gen *host* akan di-copy. Jika tidak, maka gen *virus* akan diisi dengan “\*”.

V. METODE PENELITIAN

Penelitian dilakukan di Laboratorium Analisa Sistem Tenaga Listrik Kampus Teknik Elektro Universitas Udayana dimulai dari bulan Mei hingga bulan September 2016. Data yang diperlukan diambil dari penelitian sebelumnya oleh Putra [2]. Pengambilan data yang sama dikarenakan hasil penelitian optimasi penempatan *recloser* menggunakan

metode VEGA akan dibandingkan dengan penelitian Putra yang menggunakan metode kombinasi *fuzzy GA*. Data-data yang diperlukan berupa data *single line diagram*, jumlah beban, jumlah pelanggan, kapasitas trafo, panjang penyulang dan data gangguan. Alur penelitian dapat digambarkan dengan diagram alir pada gambar 3:



Gambar 3: Diagram alir optimasi penempatan *recloser* menggunakan metode VEGA

Tahapan penelitian sesuai diagram alir pada gambar 3 adalah sebagai berikut:

1. Mengumpulkan data jumlah pelanggan, *single line diagram*, data kapasitas trafo, data beban trafo, panjang saluran, laju kegagalan dan waktu keluaran.
2. Membagi penyulang lembongan menjadi 8 grup berdasarkan letak LBS.
3. Mencari nilai laju kegagalan, waktu keluaran dan ketidakterersediaan tiap grup.
4. Menghitung nilai SAIDI dan SAIFI tanpa *recloser*.
5. Membangkitkan populasi dengan input-an load point penyulang Lembongan.

6. Memasukan nilai populasi awal ke fungsi *fitness* pada persamaan 7 dan mendapatkan nilai populasi pertama.
7. Melakukan proses *linear fitness ranking*.
8. Seleksi menggunakan *roulette wheel*.
9. Proses pindah silang (*crossover*) menggunakan tipe *value encoding*.
10. Melakukan proses mutasi dengan tipe mutasi pengkodean nilai dan mendapatkan nilai populasi baru.
11. Melakukan penginfeksian *virus* pada populasi baru
12. Menghitung *fitness virus*
13. Menghitung *life virus*
14. Menghitung *fitness* kemudian menyimpan generasi terbaik
15. Mengulang proses menghitung *fitness* sampai proses penginfeksian *virus* sampai generasi sama dengan jumlah generasi total generasi total yaitu 150 generasi.
16. Memilih 10 nilai *fitness* sebagai referensi letak *recloser*.
17. Memilih 1 nilai *fitness* terbaik sebagai letak *recloser* optimal.

Optimasi dimaksudkan untuk menentukan letak *recloser* pada penyulang Lembongan yang saat ini belum terpasang *recloser*. Fungsi tujuan dari permasalahan ini yaitu meminimalkan nilai SAIDI dan SAIFI penyulang Lembongan sesuai dengan persamaan 7. Batasan-batasan penelitiannya adalah data pelanggan sebelum dan sesudah optimasi diasumsikan sama, pembagian grup berdasarkan letak LBS, optimasi menggunakan 1 *recloser*, menggunakan 150 generasi pada program VEGA.

Program optimasi ini hanya menentukan 1 letak *recloser* optimal. Terdapat 8 grup yang merupakan kandidat penempatan *recloser* yang telah ditentukan berdasarkan letak LBS. Kandidat yang menunjukkan nilai SAIDI dan SAIFI minimal pada program optimasi VEGA merupakan penempatan *recloser* optimal, sehingga LBS yang telah terpasang akan digantikan oleh *recloser*.

## VI. HASIL DAN ANALISIS

Penyulang Lembongan menggunakan tipe konfigurasi jaringan *radial*. Penyulang ini memiliki 50 *load point* berupa trafo distribusi dengan total jumlah pelanggan 5038 dan total daya terpasang sebesar 6110 kVA. Penyulang Lembongan memiliki panjang saluran utama 21,770 km terbagi menjadi 8 grup berdasarkan letak LBS.

### A. Perhitungan Keandalan Secara Manual

Tahap pertama yang dilakukan adalah menghitung keandalan penyulang Lembongan secara manual. Adapun tahapan perhitungannya sebagai berikut [12]:

1. Menyiapkan data panjang saluran, data jumlah pelanggan per *load point* dan data indeks kegagalan peralatan.
2. Menghitung laju kegagalan ( $\lambda$ ) yang dimulai dari grup 1 dan ketidakterersediaan komponen (U) grup 1. Menghitung laju kegagalan ( $\lambda$ ) menggunakan persamaan 1 dan ketidakterersediaan (U) menggunakan persamaan 2. Tabel II merupakan hasil dari perhitungan manual  $\lambda$  dan U tiap *load point*:



TABEL II  
NILAI λ DAN U GRUP 1

Titik Beban	λ	U
LP1	0.1236	0.2718
LP2	0.2912	1.0555
LP3	0.1622	0.2454
LP4	0.4001	0.4327
LP5	1.3663	1.8907
LP6	1.0435	3.0171
LP7	0.9962	1.7973

3. Mengalikan hasil dari laju kegagalan (λ) dan ketidaktersediaan (U) dengan jumlah pelanggan dari masing-masing load point ditunjukkan pada tabel III.

TABEL III  
NILAI λ x PELANGGAN DAN U x PELANGGAN GRUP 1

Titik Beban	λ x pelanggan	U x pelanggan
LP1	39.4375	86.7015
LP2	4.0766	14.7776
LP3	26.9203	40.7295
LP4	0.4001	0.4327
LP5	215.8763	298.7268
LP6	158.6070	458.6037
LP7	42.8372	77.2850
TOTAL	488.1549	977.2567

4. Menghitung dengan cara yang sama seperti langkah 2 dan 3 pada grup 2 sampai grup 8.  
5. Menjumlahkan nilai total λ x pelanggan dan nilai total U x pelanggan dari grup 1 sampai grup 8 serta menjumlahkan seluruh pelanggan penyulang Lembongan dari grup 1 sampai grup 8, ditunjukkan pada tabel IV.

TABEL IV  
NILAI KEANDALAN PENYULANG LEMBONGAN

Grup	Indeks Keandalan Sistem		Jumlah Pelanggan
	λ x pelanggan	U x pelanggan	
1	488.155	977.257	853
2	3,442.215	3,442.215	1327
3	53.905	86.619	92
4	881.696	1,237.560	894
5	20.513	70.852	523
6	1.182	7.730	74
7	652.106	1,053.908	1104
8	12.234	32.924	171
Total	5.552.006	8.238.356	5038

6. Menghitung indeks keandalan sistem menggunakan persamaan 3 untuk SAIDI dan persamaan 4 untuk SAIFI :

Perhitungan SAIDI (System Average Interruption Duration Index) :

$$SAIDI = \frac{\sum U_i \cdot N_i}{\sum N_i} = \frac{8.238.356}{5038} = 1.635 \text{ jam/pelanggan/tahun}$$

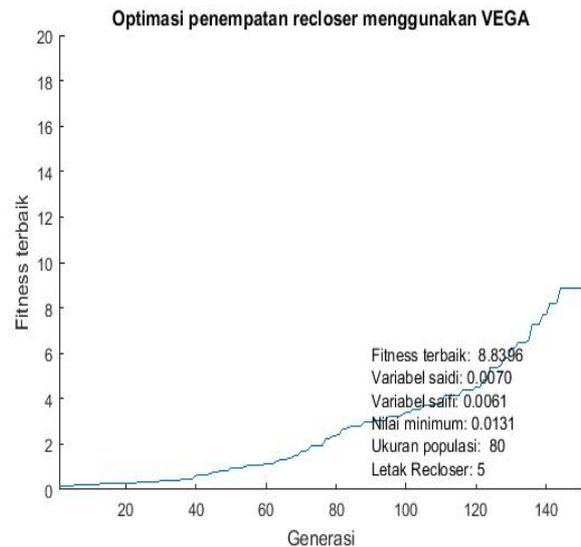
Perhitungan SAIFI (System Average Interruption Frequency Index) :

$$SAIFI = \frac{\sum \lambda_i \cdot N_i}{\sum N_i} = \frac{5.552.006}{5038} = 1.102 \text{ kali/pelanggan/tahun}$$

Nilai keandalan dari perhitungan manual nantinya akan dibandingkan dengan hasil penelitian sebelumnya yang dilakukan oleh Putra menggunakan metode kombinasi fuzzy GA serta dibandingkan dengan penelitian menggunakan metode VEGA.

B. Perhitungan Keandalan Menggunakan Metode VEGA

Hasil dari program optimasi penempatan recloser menggunakan metode VEGA pada penyulang Lembongan dengan nilai fitness paling tinggi dari running program ke-7 dapat dilihat pada gambar 4.



Gambar 4. Hasil running program VEGA ke-7

Hasil dari 10 kali running program VEGA selengkapnya dapat dilihat pada tabel V.

TABEL V  
 HASIL RUNNING PROGRAM VEGA

No.	Fitness	SAIDI	SAIFI	Grup	Running Program ke-	Waktu Running (detik)
1	8,8396	0,0070	0,0061	5	7	217
2	8,7940	0,0105	0,0032	5	2	218
3	8,7390	0,0045	0,0099	5	9	221
4	8,6889	0,0101	0,0050	5	4	220
5	8,5596	0,0154	0,0014	5	5	220
6	8,1316	0,0014	0,0216	5	8	221
7	8,1124	0,0028	0,0205	4	10	220
8	7,9281	0,0098	0,0163	5	3	223
9	7,7263	0,0160	0,0134	5	1	222
10	7,1457	0,0186	0,0214	5	6	217

Berdasarkan tabel V, hasil dari 10 kali *running* program metode VEGA menunjukkan letak *recloser* optimal berada pada grup 5 dengan kemunculan sebanyak 9 kali pada grup 5 dan hanya 1 kali pada grup 4. Selain itu *fitness* tertinggi 8,8396 juga menunjukkan letak *recloser* berada pada grup 5 dengan SAIDI 0,0070 dan SAIFI 0,0061. Hasil *running* program dengan *fitness* tertinggi didapatkan dari *running* program ke-7 dengan durasi *running* program selama 217 detik atau sekitar 3,6 menit.

Berdasarkan hasil analisis setelah penempatan *recloser* pada grup 5 telah menunjukkan lokasi yang tepat, jika dilihat dari jumlah pelanggan yang terlindungi dan impedansi jaringan. Posisi *recloser* pada grup 5 mampu melindungi 3.689 pelanggan dari 5.038 total pelanggan dan impedansi jaringan dapat disebutkan bahwa panjang saluran utama berkurang dari 21,770 km menjadi 17,311 km yaitu dari grup 1 sampai grup 5.

Perbandingan nilai keandalan dari perhitungan manual, metode kombinasi *fuzzy* GA, dan metode VEGA dapat dilihat pada tabel VI. Dasar perbandingan hasil optimasi program metode VEGA dengan metode kombinasi *fuzzy* GA dikarenakan kedua penelitian tersebut menggunakan data yang sama yaitu penyulang Lembongan agar hasil nilai SAIDI dan SAIFI dapat dibandingkan.

TABEL VI  
 PERBANDINGAN NILAI KEANDALAN PERHITUNGAN MANUAL, METODE KOMBINASI FUZZY GA DAN METODE VEGA

Metode	Fitness	SAIDI	SAIFI	Waktu Running (detik)
Perhitungan Manual dengan <i>Recloser</i>	-	1,635	1,102	-
Metode Kombinasi <i>fuzzy</i> GA	3,9639	0,069	0,092	15
Metode VEGA	8,8396	0,007	0,006	217

Berdasarkan tabel VI, terlihat bahwa perbandingan nilai keandalan (SAIDI dan SAIFI) menggunakan metode VEGA semakin meningkat dibandingkan menggunakan metode kombinasi *fuzzy* GA, namun waktu yang dibutuhkan untuk *running* program metode VEGA lebih lama karena pada metode VEGA terdapat penginfeksi *virus* yang membuat adanya perhitungan tambahan sehingga perhitungan semakin kompleks. Hasil penempatan *recloser* yang optimal yang ditunjukkan oleh metode kombinasi *fuzzy* GA dibandingkan dengan metode VEGA sama yaitu pada grup 5, namun metode VEGA memiliki nilai keandalan (SAIDI dan SAIFI) yang lebih baik dibandingkan menggunakan metode kombinasi *fuzzy* GA. Hal tersebut diakibatkan metode VEGA memiliki proses penginfeksi *virus* untuk memperbaiki nilai individu setiap generasi.

## VII. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil analisis dan pembahasan optimasi penempatan *recloser* menggunakan metode VEGA pada penyulang Lembongan dapat disimpulkan bahwa penempatan *recloser* optimal berada pada grup 5 berdasarkan program yang memunculkan 9 kali pada grup 5 dari 10 kali *running* program. Nilai *fitness* tertinggi mencapai 8,8396 dengan SAIDI 0,0070 dan SAIFI 0,0061. Nilai keandalan tersebut membuktikan *recloser* mampu meningkatkan keandalan jauh lebih baik dibandingkan sebelum pemasangan *recloser* dengan indeks keandalan sebelumnya yaitu SAIDI 95,85 jam/pelanggan/ tahun dan SAIFI 76 kali/ pelanggan/ tahun. Penempatan *recloser* pada grup 5 juga terbukti mampu melindungi 3.689 pelanggan dari 5.038 total pelanggan dan mampu mengurangi impedansi jaringan dari 21,770 km menjadi 17,311 km yaitu dari grup 1 sampai grup 5. Hasil perbandingan penempatan *recloser* optimal menggunakan metode VEGA dan metode kombinasi *fuzzy* GA sama yaitu pada grup 5. Perbandingan waktu yang dibutuhkan untuk *running* program metode VEGA sekitar 3,6 menit sedangkan metode kombinasi *fuzzy* GA hanya 15 detik. Metode VEGA memiliki kelemahan pada waktu *running* program yang lebih lama sekitar 14 kali lipat lebih lama dari metode kombinasi *fuzzy* GA.

## REFERENSI

- [1] Hartati, R. S., Sukerayasa, I. W. "Penerapan Metode Pendekatan Teknik untuk Meningkatkan Keandalan Sistem Distribusi". Teknologi Elektro, Vol.9, No.1, (Januari-Juni) : 50-53. 2010.
- [2] Putra, I. M. Y. L. "Optimasi Penempatan *Recloser* untuk Memperbaiki Keandalan Sistem Distribusi pada Penyulang Lembongan Menggunakan Metode Kombinasi Logika *Fuzzy* dengan Algoritma Genetika". Teknologi Elektro dan Komputer, Vol. 15, No.1, (Januari-Juni) : 2016
- [3] Amrita, A.A.N. 2007. Penentuan Posisi dan Kapasitas Optimal Bank Kapasitor pada Sistem Distribusi Menggunakan *Virus Evolutionary Genetic Algorithm* (VEGA). Surabaya: Institut Teknologi Sepuluh November Surabaya.
- [4] PT. PLN (Persero). 1997. PBO-SSO. Jakarta: PT.PLN (Persero) Pusat Pendidikan dan Pelatihan.



- [5] NN. 2017. OVR ANSI / IEC MV outdoor vacuum reclosers. <http://new.abb.com/medium-voltage/apparatus/reclosers/ansi-iec-single-and-three-phase-recloser-ovr>. Diakses tanggal 15 April 2017.
- [6] Marsudi, D. 2006. Operasi Sistem Tenaga Listrik. Yogyakarta: Graha Ilmu
- [7] Brown, R. 2009. Electric Power Distribution Reliability, Second Edition, New York, CRC Press Taylor & Francis Group.
- [8] PT. PLN (Persero). 1985. Keandalan Pada Sistem Distribusi 20 kV dan 6 kV. Jakarta: SPLN No.59 : 1985.
- [9] Sutojo, dkk. 2010. Kecerdasan Buatan. Semarang: Andi.
- [10] Zuhri, Z. 2013. Algoritma Genetika Metode Komputasi Evolusioner untuk Menyelesaikan Masalah Optimasi, Yogyakarta, Andi.
- [11] Suyanto. 2005. Algoritma Genetika dalam MATLAB. Yogyakarta, Andi
- [12] Arigandi, G. P. B., Hartati, R. S., Weking, A. I. "Analisa Keandalan Sistem Distribusi Penyulang Kampus dengan Menggunakan Penggabungan Metode *Section Technique* Dan Ria". Teknologi Elektro, Vol. 14, No.2, (Juli-Desember) : 1-5. 2015.