

# OPTIMASI PENEMPATAN *RECLOSER* TAMBAHAN UNTUK MEMINIMALKAN SAIFI DAN SAIDI PADA JARINGAN DISTRIBUSI 20 KV FEEDER KTN 11 PT. PLN (PERSERO) UNIT PELAKSANA PELAYANAN PELANGGAN (UP3) YOGYAKARTA MENGGUNAKAN *GENETIC ALGORITHM* (GA)

Septya Ika Sari<sup>\*)</sup>, Hermawan dan Nugroho Agus Darmanto

Departemen Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Diponegoro  
Jl. Prof. Sudharto, SH, Kampus UNDIP Tembalang, Semarang 50275, Indonesia

<sup>\*)</sup>E-mail: [septyaikasari@students.undip.ac.id](mailto:septyaikasari@students.undip.ac.id)

## Abstrak

Kebutuhan akan energi listrik dari tahun ke tahun semakin meningkat sehingga diperlukan sistem tenaga listrik dengan keandalan yang tinggi agar kualitas kekontinyuisan listrik dapat terjaga. Salah satu cara untuk meningkatkan keandalan adalah dengan memasang *recloser*. *Recloser* berfungsi untuk memutuskan dan menyambungkan kembali aliran listrik secara otomatis. Pemasangan *recloser* akan optimal apabila didasari dengan perhitungan yang benar. Parameter yang digunakan dalam keandalan sistem tenaga listrik adalah SAIFI dan SAIDI. Nilai SAIFI dan SAIDI dapat dihitung dari tingkat laju kegagalan dan waktu pemadaman dari setiap komponen pada sistem. Semakin kecil nilai SAIFI dan SAIDI maka keandalannya akan semakin bagus. Pada penelitian ini akan dibuat program simulasi optimasi penempatan *recloser* tambahan menggunakan metode *genetic algorithm* pada *software* MATLAB R2016a. Dari hasil simulasi diperoleh bahwa SAIFI dan SAIDI setelah optimasi lebih kecil daripada sebelum optimasi. Nilai SAIFI dan SAIDI sebelum penempatan *recloser* adalah 3,1784 kali/tahun dan 9,7555 jam/tahun. Setelah dilakukan optimasi didapatkan nilai SAIFI dan SAIDI yang optimal untuk 1 *recloser* yang berada pada lokasi 19 yaitu 1,2383 kali/tahun dan 3,9162 jam/tahun. Sedangkan untuk 2 *recloser* didapatkan posisi yang optimal pada lokasi 19 dan 52 dengan nilai SAIFI dan SAIDI yaitu 0,82212 kali/tahun dan 2,6514 jam/tahun.

**Kata kunci:** keandalan, *recloser*, SAIFI, SAIDI, *genetic algorithm*

## Abstract

*The need for electrical energy from year to year is increasing, so it is necessary to have an electric power system with high reliability so that the quality of electricity can be maintained. One way to increase reliability is to install a recloser. Recloser functions to disconnect and reconnect the electricity automatically. The parameters used in the reliability of the electric power system are SAIFI and SAIDI. SAIFI and SAIDI values can be calculated from the failure rate and outage time of each component in the system. In this study, an additional recloser placement optimization simulation program will be created using the genetic algorithm method in the MATLAB R2016a software. From the simulation results, it is found that SAIFI and SAIDI after optimization are smaller than before optimization. The SAIFI and SAIDI values before recloser placement were 3.1784 times / year and 9,7555 hours / year. After the optimization, the optimal SAIFI and SAIDI values for 1 recloser at location 19 are 1.2383 times / year and 3.9162 hours / year. Whereas for 2 reclosers the optimal position was obtained at locations 19 and 52 with SAIFI and SAIDI values of 0.82212 times / year and 2.6514 hours / year.*

**Keywords:** reliability, *recloser*, SAIFI, SAIDI, *genetic algorithm*

## 1. Pendahuluan

Semakin berkembangnya dunia teknologi baik di bidang industri, usaha, maupun rumah tangga menyebabkan kebutuhan akan tenaga listrik dari pelanggan selalu bertambah dari waktu ke waktu. Untuk tetap dapat melayani kebutuhan tenaga listrik, maka sistem tenaga

listrik haruslah dikembangkan seiring dengan kenaikan kebutuhan akan tenaga listrik dari para pelanggan. Bagian dari sistem tenaga listrik yang paling dekat dengan pelanggan adalah sistem distribusi. Dimana sistem distribusi adalah bagian sistem tenaga listrik yang paling banyak mengalami gangguan [1]. Maka dari itu, pada sistem distribusi diperlukan tingkat keandalan yang tinggi [2].

Untuk mengetahui keandalan pada sistem distribusi maka ditetapkan suatu indeks keandalan yaitu besaran untuk membandingkan penampilan suatu sistem distribusi. Indeks keandalan yang sering dipakai dalam suatu sistem distribusi adalah SAIFI (*System Average Interruption Frequency Index*) dan SAIDI (*System Average Interruption Duration Index*). Sebagai acuan penentuan indeks keandalan yaitu sesuai dengan standar IEEE std 1366 – 2003 dengan nilai SAIFI = 1,45 kali/tahun dan SAIDI = 2,3 jam/tahun [3].

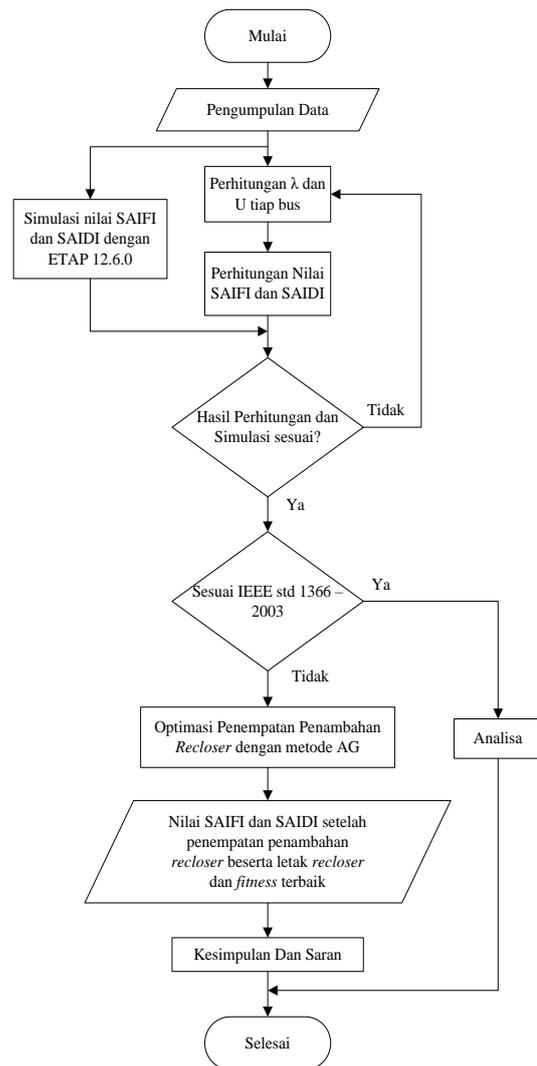
Keandalan pelayanan dapat ditingkatkan dengan menempatkan *switch* dan *recloser* di lokasi yang tepat dalam sistem distribusi sehingga bagian sistem yang tidak terkena gangguan dapat di *energized* setelah mengisolasi bagian sistem yang terkena gangguan. Maka dari itu, untuk meningkatkan keandalan layanan, strategi penempatan *switch* dan *recloser* yang optimal perlu dikembangkan [4]. Pengujian optimasi penempatan *recloser* sudah banyak dilakukan sebelumnya diantaranya optimasi penempatan *recloser* menggunakan metode PSO (*Particle Swarm Optimization*) oleh Dewi Wijayanti [5], ACO (*Ant Colony Optimization*) oleh Abraham Bayu D. [6], ABC (*Artificial Bee Colony*) oleh Thomas Febian L. B. [7], dan *Simplex Method* oleh G. Hadi Prasetyo [8].

Penelitian ini merujuk keandalan di GI Kentungan pada *feeder* KTN 11 setelah dilakukan pelimpahan beban dengan KTN 14 dan setelah *feeder* KTN 17 beroperasi pada tahun 2019. Dengan nilai SAIFI = 6 kali/tahun dan SAIDI = 4,183 jam/tahun. Nilai keandalan sistem distribusi tersebut belum memenuhi IEEE std 1366 – 2003 [3]. Oleh karena itu, pada penelitian ini akan dilakukan optimasi penempatan *recloser*. Simulasi penempatan *recloser* pada penelitian ini menggunakan metode Algoritma Genetika dengan bantuan *software* Matlab R2016a.

## 2. Metode

### 2.1. Langkah Penelitian

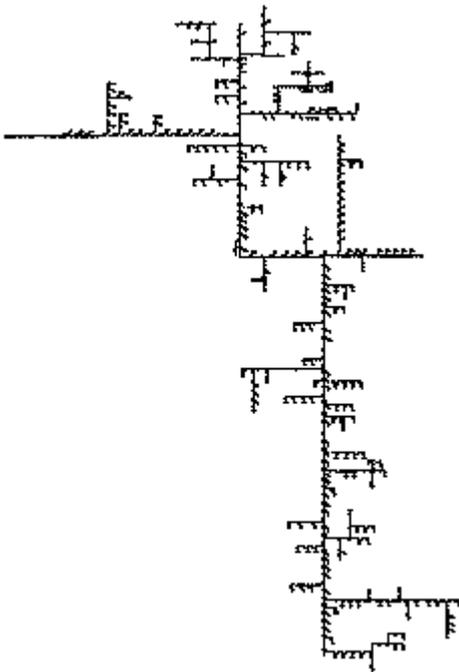
Penelitian ini bertujuan untuk menghitung nilai indeks keandalan SAIFI dan SAIDI jaringan distribusi listrik pada *feeder* KTN 11 setelah dilakukan pelimpahan beban dan menentukan posisi penempatan *recloser* tambahan yang optimal menggunakan metode *genetic algorithm* (GA) guna mendapatkan keandalan suatu jaringan yang memenuhi standar IEEE std 1366 – 2003 [3]. Langkah-langkah yang dilakukan pada penelitian ini ditunjukkan pada Gambar 1.



Gambar 1. Diagram Alir Langkah Penelitian

### 2.2. Pengumpulan Data

Data-data yang diperlukan dalam penelitian ini diperoleh dari PT.PLN (Persero) UP2D JTY DCC 2 Yogyakarta dan PT.PLN (Persero) ULP Kalasan. Data-data tersebut meliputi data *single line diagram* Gardu Induk 150 kV Kentungan *feeder* KTN 11, kapasitas trafo distribusi, data pembebanan, beban masing-masing trafo distribusi, dan rekap data pemadaman pada tahun 2019. Karena keterbatasan data yang diperoleh dari PT. PLN (Persero) mengenai data panjang saluran, maka di asumsikan jarak antar tiang pada saluran adalah 50 m.



Gambar 2. Jaringan Feeder KTN 11

### 2.3. Pengolahan data (Perhitungan Indeks Keandalan Sebelum dan Setelah Penempatan Recloser)

Setelah data-data yang diperlukan sudah lengkap, kemudian dilakukan perhitungan indeks keandalan sebelum penempatan *recloser* tambahan. Perhitungan indeks keandalan menggunakan rumus matematik, yaitu indeks keandalan dasar digunakan laju kegagalan  $\lambda$  (kegagalan/tahun), rata – rata waktu keluar (*outage*)  $r$  (jam/kegagalan) dan rata – rata ketidaktersediaan tahunan  $U$  (jam/tahun), sedangkan indeks berbasis sistem diantaranya digunakan SAIFI dan SAIDI [9]. SAIFI merupakan suatu indeks yang menyatakan banyaknya gangguan (pemadaman) yang terjadi dalam selang waktu tertentu (1 tahun) pada pelanggan dalam suatu sistem secara keseluruhan. Sedangkan SAIDI merupakan suatu indeks yang menyatakan lamanya gangguan (pemadaman) yang terjadi dalam selang waktu tertentu (1 tahun) pada pelanggan dalam suatu sistem secara keseluruhan [10]. Perhitungan nilai SAIFI dan SAIDI dilakukan secara riil pada tahun 2019. Dari hasil perhitungan kondisi riil tersebut, maka dapat dilakukan perbandingan terhadap standar PLN.

$$\lambda = \frac{f}{T} \quad (1)$$

Dimana:

$\lambda$ = Angka kegagalan (kali/tahun)

$f$  = Banyaknya kegagalan dalam selang waktu pengamatan

$T$ = Selang waktu pengamatan (1 tahun) [11]

$$SAIFI = \frac{\sum \lambda_i N_i}{\sum N} \quad (2)$$

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

Dimana:

$\lambda_i$  = laju kegagalan (kali/tahun)

$U_i$  = lama pemadaman/durasi (jam/tahun)

$N_i$  = jumlah pelanggan padam

$N$  = jumlah pelanggan total [12]

Kemudian dilakukan perhitungan kondisi awal sebelum penempatan penambahan *recloser*. Untuk perhitungan frekuensi gangguan [13]:

$$\lambda_{LP} = \sum_{i=K} \lambda_i \quad (4)$$

Dimana:

$\lambda_i$  = laju kegagalan untuk peralatan K (failure)

$K$  = semua peralatan yang berpengaruh terhadap *Load Point*

Untuk perhitungan lama gangguan :

$$U_{LP} = \sum_{i=K} U_i = \sum_{i=K} \lambda_i \times MTTR \quad (5)$$

Dimana:

MTTR = waktu perbaikan (jam)

Dari hasil perhitungan kondisi *real* tersebut, maka dapat dilakukan perbandingan terhadap standar IEEE. Apabila hasil perhitungan kondisi riil tidak sesuai dengan standar IEEE std 1366 – 2003, maka perlu dilakukan pemasangan penambahan *recloser* guna meminimalkan nilai SAIFI dan SAIDI.

### 2.4. Optimasi Penempatan Penambahan Recloser dengan Metode AG

Pada tahap ini, optimasi dilakukan dengan cara memasukkan parameter-parameter dari metode AG. Parameter yang dimasukkan yaitu ukuran populasi, probabilitas pindah silang, probabilitas mutasi, dan maksimal generasi. Fungsi tujuan yang digunakan dalam proses optimasi adalah sebagai berikut:

$$f(x) = \frac{1}{SAIFI \cdot SAIDI} \quad (6)$$

Parameter ukuran populasi (UkPop) yang digunakan adalah 100 karena pada titik beban bus yang digunakan pada sistem berjumlah 84, sehingga pengacakan akan berlangsung baik. Untuk parameter  $P_{silang}$  didapatkan berdasarkan buku referensi [14]. Sedangkan parameter  $P_{mutasi}$  dan  $Maxgen$  di set 0,1 dan 10. Maksimum generasi diperlukan pada inialisasi ini untuk membatasi proses pencarian. Semakin besar nilai maksimum generasi maka waktu proses perhitungan akan semakin lama [6].

Proses optimasi pada penelitian ini dilakukan dengan memilih jumlah *recloser* tambahan yang akan digunakan. Jumlah *recloser* yang digunakan dibatasi yaitu hanya 1 dan 2 buah *recloser* tambahan saja.

Setelah proses optimasi selesai maka akan diperoleh letak *recloser* yang paling optimal beserta nilai *fitness* terbaik, SAIFI dan SAIDI baru. Langkah selanjutnya melengkapi analisa dengan kesimpulan dan saran.

### 3. Hasil dan Analisa

#### 3.1. Kondisi Sebelum Penempatan *Recloser* Tambahan

Kondisi sebelum penempatan *recloser* tambahan akan dihitung berdasarkan rekap data pemadaman tahun 2019 yang diperoleh dari PT.PLN (Persero) UP2D JTY DCC 2 Yogyakarta, dengan menggunakan *software* Matlab R2016a dan ETAP 12.6.0. Kemudian dilakukan perbandingan nilai indeks keandalan antara kedua *software* tersebut.

##### 3.1.1. Analisa Keandalan Kondisi Riil Tahun 2015

Dari rekap data pemadaman tahun 2019, pada *feeder* KTN 11 diketahui terdapat 6 kali pemadaman dan total lama pemadaman 251 menit. Jumlah pelanggan pada *feeder* KTN 11 adalah 16328 pelanggan. Dari perhitungan indeks keandalan pada persamaan 1, 2, dan 3, didapat nilai SAIFI dan SAIDI pada Tabel 1, sebagai berikut:

**Tabel 1. Hasil perhitungan indeks keandalan kondisi riil tahun 2019**

Feeder	$\lambda$	U <sub>i</sub>	N <sub>i</sub>	N	SAIFI	SAIDI
KTN 11	6	251	16328	16328	6	4,183

Dari hasil perhitungan, didapatkan nilai SAIFI dan SAIDI pada *feeder* KTN 11 yaitu 6 kali/tahun dan 4,183 jam/tahun, dimana nilai SAIFI dan SAIDI tersebut tidak memenuhi standar, karena telah melebihi standar yang digunakan. Standar yang digunakan yaitu IEEE std 1366 – 2003 [3] yang menyebutkan bahwa standar SAIFI adalah 1,45 kali/tahun, sedangkan SAIDI adalah 2,30 jam/tahun. Oleh karena itu, pada *feeder* KTN 11 perlu dilakukan pemasangan penambahan *recloser* guna meminimalkan nilai SAIFI dan SAIDI.

##### 3.1.2. Perhitungan Kondisi Awal dengan MATLAB R2016a

Perhitungan nilai SAIFI dan SAIDI pada *software* Matlab R2016a berdasarkan jumlah titik beban pada *feeder* KTN 11. Untuk rumus perhitungan  $\lambda$  dan U tiap titik beban bus digunakan rumus pada persamaan 4 dan 5. Contoh perhitungan pada titik beban bus 4 sebagai berikut:

$$\lambda_4 = \lambda_3 + (\text{Panjang line. } \lambda_{SUTM})$$

$$\lambda_4 = 1,625 + (0,15.0,2)$$

$$\lambda_4 = 1,655 \text{ failure/year}$$

$$LP_4 = 1,655.36 = 59,58 \text{ kali/tahun}$$

$$U_4 = U_3 + (\text{Panjang line. } \lambda_{SUTM}.r_{SUTM})$$

$$U_4 = 5,05 + (0,15.0,2.3)$$

$$U_4 = 5,14 \text{ hour/year}$$

$$LP_4 = 5,14.36 = 185,04 \text{ jam/tahun}$$

Untuk semua titik beban dilakukan perhitungan yang sama agar didapat nilai SAIFI dan SAIDI sistem. Dari perhitungan indeks keandalan dengan MATLAB R2016a didapat hasil pada Tabel 2, sebagai berikut :

**Tabel 2. Hasil perhitungan indeks keandalan kondisi awal dengan MATLAB R2016a**

Feeder	SAIFI (kali/tahun)	SAIDI (jam/tahun)
KTN 11	3,1784	9,7555

Dari hasil perhitungan, keandalan pada *feeder* KTN 11 dikategorikan kurang andal. Hal tersebut dikarenakan nilai SAIFI dan SAIDI melebihi batas standar indeks keandalan IEEE std 1366 – 2003 [3], yang menyebutkan bahwa standar untuk nilai SAIFI adalah 1,45 kali/tahun, sedangkan SAIDI adalah 2,30 kali/tahun.

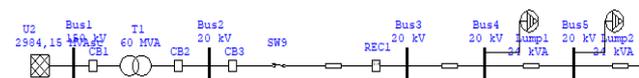
##### 3.1.3. Perhitungan Kondisi Awal dengan ETAP 12.6.0

Perhitungan kondisi awal pada ETAP 12.6.0 dilakukan dengan menghitung nilai SAIFI dan SAIDI pada tiap titik beban. Pada *single line diagram feeder* KTN 11 menggunakan 323 titik beban pada jaringan 3 fasa. Dengan 87 titik beban di *main feeder*, dan sisanya sebagai titik beban pada cabang.

**Tabel 3. Hasil perhitungan indeks keandalan kondisi awal dengan ETAP 12.6.0**

Feeder	SAIFI (kali/tahun)	SAIDI (jam/tahun)
KTN 11	3,1784	9,7555

Dari hasil simulasi ETAP 12.6.0 *feeder* KTN 11 pada Tabel 3. diperoleh nilai SAIFI yaitu 3,1784 kali/tahun dan SAIDI 9,7555 jam/tahun.



**Gambar 3. Feeder KTN 11 pada simulasi ETAP 12.6.0**

##### 3.1.4. Perbandingan Kondisi Riil dengan MATLAB R2016a

Setelah dilakukan perhitungan indeks keandalan pada kondisi riil dan MATLAB R2016a, didapat perbandingan nilai SAIFI dan SAIDI pada Tabel 4.

**Tabel 4. Perbandingan kondisi riil dan MATLAB R2016a**

No	Kondisi	SAIFI (kali/tahun)	SAIDI (jam/tahun)
1	Riil	6	4,183
2	MATLAB R2016a	3,1784	9,7555

Pada Tabel 4. terdapat perbedaan antara kondisi riil dan perhitungan MATLAB R2016a. Hal ini dikarenakan saat kondisi riil memperhatikan sisi keadaan sekitar seperti pohon, hewan dan lain-lain. Sedangkan pada saat perhitungan MATLAB R2016a menggunakan nilai laju kegagalan ( $\lambda$ ) dan MTTR [15]. Sehingga hasil nilai SAIFI dan SAIDI berbeda.

**3.1.5. Perbandingan simulasi ETAP 12.6.0 dengan MATLAB R2016a**

**Tabel 5. Perbandingan simulasi ETAP 12.6.0 dengan MATLAB R2016a**

INDEKS	ETAP	MATLAB	Error (%)
SAIFI (kali/tahun)	3,1784	3,1784	0
SAIDI (jam/tahun)	9,7555	9,7555	0

Pada Tabel 5. dapat dilihat bahwa hasil dari perhitungan nilai SAIFI dan SAIDI dengan menggunakan MATLAB R2016a dan dengan menggunakan ETAP 12.6.0 adalah sama, yaitu dengan nilai SAIFI 3,1784 kali/tahun dan SAIDI 9,7555 jam/tahun. Sehingga nilai *error*-nya adalah 0 %.

**3.2. Optimasi Penempatan Recloser Tambahan dengan AG**

Dalam pengujian tugas akhir ini dimaksudkan untuk mendapat nilai SAIFI dan SAIDI yang minimum guna meningkatkan keandalan suatu sistem tenaga listrik. Dalam pengujian ini menggunakan parameter sistem dan parameter Algoritma Genetika (AG). Parameter sistem yang digunakan sesuai dengan SPLN 59: 1985 [15] sebagai berikut:

**Tabel 6. Parameter Sistem**

No.	Parameter	Nilai
1	Lamda SKUTM	0,07
2	MTTR SKUTM	10
3	Lamda SUTM	0,2
4	MTTR SUTM	3
5	Lamda PMT	0,004
6	MTTR PMT	10
7	Lamda Trafo	0,005
8	MTTR Trafo	10
9	Lamda Recloser	0,005
10	MTTR Recloser	10
11	Lamda FCO	0,003
12	MTTR FCO	0,25
13	Lamda LBS	0,003
14	MTTR LBS	10
15	Lamda ABSW	0,003
16	MTTR ABSW	10

Sedangkan untuk parameter AG yang digunakan dapat dilihat pada Tabel 7.

**Tabel 7. Parameter Algoritma Genetika (AG)**

No.	Parameter	Nilai
1	Ukuran Populasi	100
2	Probabilitas Pindah Silang	0,8
3	Probabilitas Mutasi	0,1
4	Generasi Maksimum	10

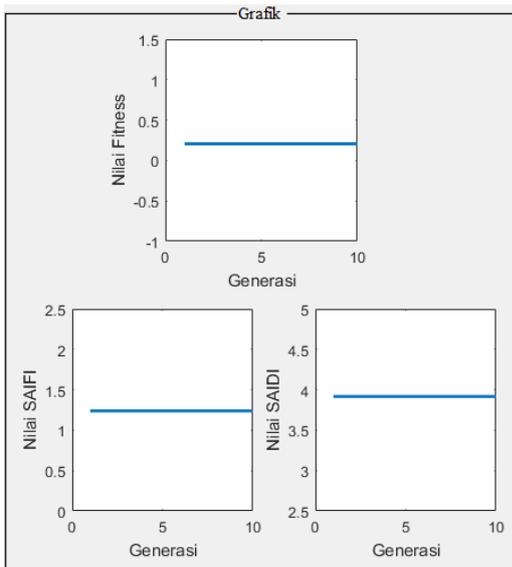
**3.2.1. Optimasi dengan 1 Recloser Tambahan**

	Nilai Fitness
1	0.2062
2	0.2062
3	0.2062
4	0.2062
5	0.2062
6	0.2062
7	0.2062
8	0.2062
9	0.2062
10	0.2062

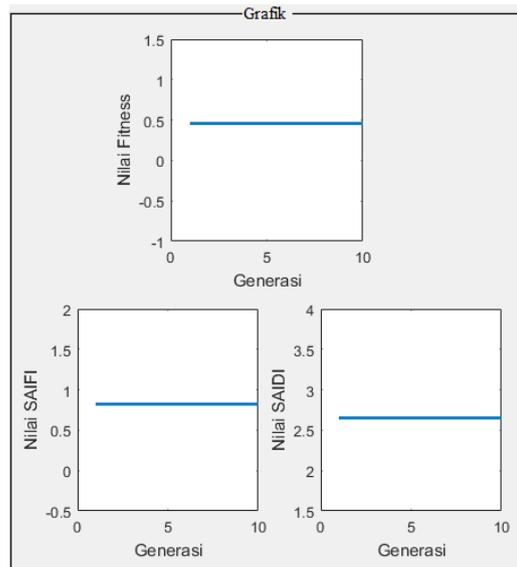
**Gambar 4. Panel tabel generasi nilai fitness**

<b>Letak Recloser</b>	19
<b>SAIFI (Kali/Tahun)</b>	1.2383
<b>SAIDI (Jam/Tahun)</b>	3.9162
<b>Nilai Fitness</b>	0.2062

**Gambar 5. Panel hasil optimasi 1 recloser tambahan**



Gambar 6. Grafik perbandingan antara generasi dengan nilai *fitness*, SAIFI, dan SAIDI



Gambar 9. Grafik perbandingan antara generasi dengan nilai *fitness*, SAIFI, dan SAIDI

### 3.2.2. Optimasi dengan 2 Recloser Tambahan

Generasi	Nilai Fitness
1	0.4588
2	0.4588
3	0.4588
4	0.4588
5	0.4588
6	0.4588
7	0.4588
8	0.4588
9	0.4588
10	0.4588

Gambar 7. Panel tabel generasi nilai *fitness*

Letak Recloser	19 52
SAIFI (Kali/Tahun)	0.82212
SAIDI (Jam/Tahun)	2.6514
Nilai Fitness	0.45876

Gambar 8. Panel hasil optimasi 2 *recloser* tambahan

Tabel 8. Hasil optimasi penambahan *recloser*

No.	Jumlah Recloser	SAIFI (Kali/tahun)	SAIDI (Jam/tahun)	Fitness	Lokasi
1	1	1,2383	3,9162	0,2062	19
2	2	0,82212	2,6514	0,45876	19, 52

Pada Tabel 8. didapat lokasi *recloser* tambahan yang optimal, yang pertama berada pada lokasi 19 untuk 1 *recloser*, sedangkan yang kedua berada pada lokasi 19 dan 52 untuk pemasangan 2 *recloser*. Dari data tersebut, dapat dilihat bahwa setelah dilakukan optimasi nilai SAIFI dan SAIDI mengecil. Namun pada penelitian ini hanya nilai SAIFI saja yang sudah memenuhi standar IEEE std 1366 – 2003 [3], sedangkan nilai SAIDI belum memenuhi. Hal tersebut dikarenakan *feeder* KTN 11 memiliki saluran yang panjang yaitu 87,75 kms.

## 4. Kesimpulan

Dari tugas akhir ini, dapat disimpulkan bahwa optimasi penempatan *recloser* tambahan yang paling optimal pada *feeder* KTN 11 untuk 1 *recloser* terletak pada titik beban bus 19 dengan nilai *fitness* 0,2062 serta nilai SAIFI 1,2383 kali/tahun dan SAIDI 3,9162 jam/tahun. Sedangkan untuk penempatan 2 *recloser* tambahan didapatkan letak *recloser* yang paling optimal pada titik beban bus 19 dan 52 dengan nilai *fitness* 0,45876 serta nilai SAIFI yaitu 0,82212 kali/tahun dan SAIDI 2,6514 jam/tahun. Semakin kecil nilai SAIFI dan SAIDI maka tingkat keandalannya akan semakin tinggi. Untuk pengembangan dari tugas akhir ini dapat dilakukan pada tipe jaringan listrik yang lain seperti tipe jaringan *ring*, jaring-jaring dan *spindle*.

## Referensi

- [1] Djiteng Marsudi, "Operasi Sistem Tenaga Listrik", Edisi Pertama – Penerbit Graha Ilmu – Yogyakarta, 2006.
- [2] Fatoni, Achmad, Rony Seto Wibowo, dan Adi Soeprijanto. 2016. Analisa Keandalan Sistem Distribusi 20 kV PT.PLN Rayon Lumajang dengan Metode FMEA (Failure Modes and Effects Analysis). Surabaya: Institut Teknologi Sepuluh Noverber.
- [3] Short, Tom, *Electrical Power Distribution Handbook*, Florida, 2004.
- [4] Afroz Alam, Vinay Pant, dan Biswarup Das, "Switch and recloser placement in distribution system considering uncertainties in loads, failure rates and repair rates," *Electric Power System Research*, vol. 140, pp. 619-630, 2016.
- [5] D. Wijayanti, "Optimisasi Penempatan Recloser untuk Meminimalisir Nilai SAIFI dan SAIDI pada Penyulang PDP 04 Menggunakan Particle Swarm Optimization (PSO)," *TRANSIENT*, vol. 5, pp. 315–319, 2016.
- [6] A. D, "Optimisasi Penempatan Recloser Pada Sistem Distribusi Jaringan Radial Penyulang PDP-03 Menggunakan Ant Colony Optimization (ACO)," *Transient: Jurnal Ilmiah Teknik Elektro*, vol. 6, no. 2, pp.223-227, Aug. 2017.
- [7] T. Lambang Bagusiam, "Optimasi Penempatan Recloser untuk Meminimalisir Nilai Saifi dan Saidi pada Sistem Distribusi Jaringan Radial Penyulang Srl-02 Menggunakan Artificial Bee Colony Algorithm," *Transient: Jurnal Ilmiah Teknik Elektro*, vol. 6, no. 4, pp.651-656, Dec. 2017.
- [8] G. H. Prasetyo, "Optimasi Penempatan Recloser pada Penyulang Mayang Area Pelayanan dan Jaringan (APJ) Jember Menggunakan Simplex Method," Universitas Jember, 2014.
- [9] Sukeayasa, I Wayan dan Musthopa, *Evaluasi Keandalan Penyulang Dengan Metode Reliability Network Equivalent Approach*, Teknologi Elektro Vol.7 No.1, 2008.
- [10] Willis, H. Lee. 2004. *Power Distribution Planning Reference Book Second Edition, Revised and Expanded*, Raleigh, NortCarolina, U.S.A. New York-Basel: Marcel Dekker, Inc.
- [11] Wijayanti, Niken. 2018. "Analisis Keandalan Penyulang Sistem Distribusi 20 kV PT. PLN (Persero) APJ Klaten Rayon Boyolali". Universitas Teknologi Yogyakarta.
- [12] Pulungan, Ali Basrah, Sukardi, dan Dahlan Prinando Tambun, *Keandalan Jaringan Tegangan Menengah 20 KV di Wilayah Area Pelayanan Jaringan (APJ) Padang PT. PLN (Persero) Cabang Padang*, *Jurnal Nasional Teknik Elektro* Vol.1 No.1, September 2012.
- [13] Bo Hu, Xiaou-Hui He, dan Kan Cao, *Reability Evaluation Technique for Electrical Distribution Network Considering Planned Outaged*, *Jurnal Electrical Engineering Technology* Vol.9 No: 742 [Online], Available: <http://dx.doi.org/10.5370/JEET.2014.9.4.742>, 2014.
- [14] Suyanto. *Algoritma Genetika dalam MATLAB*. Yogyakarta, Indonesia: Penerbit Andi. 2006, hal 5-18.
- [15] Keandalan pada Sistem Distribusi 20 kV dan 6 kV, SPLN 59, 1985.