

**ANALISIS PERBANDINGAN RELOKASI *SECTIONALIZER* PADA  
PENYULANG PUJON UNTUK MENINGKATKAN KEANDALAN  
SISTEM DISTRIBUSI MENGGUNAKAN *ANT COLONY  
OPTIMIZATION* DAN *SIMULATED ANNEALING METHOD***

**SKRIPSI**

**TEKNIK ELEKTRO KONSENTRASI TEKNIK ENERGI ELEKTRIK**

Ditujukan untuk memenuhi persyaratan  
memperoleh gelar Sarjana Teknik



**SEPTI ULİYANI**

**NIM. 145060300111014**

**UNIVERSITAS BRAWIJAYA**

**FAKULTAS TEKNIK**

**MALANG**

**2018**

**LEMBAR PENGESAHAN**

**ANALISIS PERBANDINGAN RELOKASI *SECTIONALIZER* PADA  
PENYULANG PUJON UNTUK MENINGKATKAN KEANDALAN  
SISTEM DISTRIBUSI MENGGUNAKAN *ANT COLONY  
OPTIMIZATION* DAN *SIMULATED ANNEALING METHOD***

**SKRIPSI**

**TEKNIK ELEKTRO KONSENTRASI ENERGI ELEKTRIK**

Ditujukan untuk memenuhi persyaratan  
memperoleh gelar Sarjana Teknik



**SEPTI ULIYANI**

**NIM. 145060300111014**

Skripsi ini telah direvisi dan disetujui oleh dosen pembimbing  
pada tanggal 18 Mei 2018

Mengetahui,

Ketua Jurusan Teknik Elektro

Dosen Pembimbing I

Hadi Suyono, S.T., M.T., Ph.D. IPM  
NIP. 19730520 200801 1 013

Hadi Suyono, S.T., M.T., Ph.D. IPM  
NIP. 19730520 200801 1 013



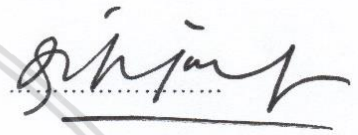
JUDUL SKRIPSI:

ANALISIS PERBANDINGAN RELOKASI *SECTIONALIZER* PADA PENYULANG PUJON UNTUK MENINGKATKAN KEANDALAN SISTEM DISTRIBUSI MENGGUNAKAN *ANT COLONY OPTIMIZATION* DAN *SIMULATED ANNEALING METHOD*

Nama Mahasiswa : Septi Uliyani  
NIM : 145060300111014  
Program Studi : Teknik Elektro  
Konsentrasi : Teknik Energi Elektrik

Komisi Pembimbing :

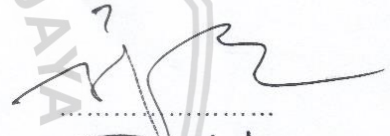
Ketua : Hadi Suyono, ST., MT., Ph.D. IPM



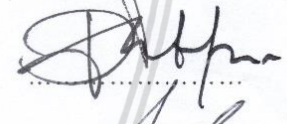
Anggota : -

Tim Dosen Penguji :

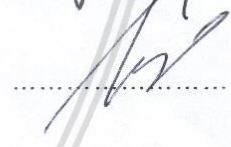
Dosen Penguji 1 : Ir. Wijono, M.T., Ph.D



Dosen Penguji 2 : Lunde Ardhenta, S.T., M.Sc

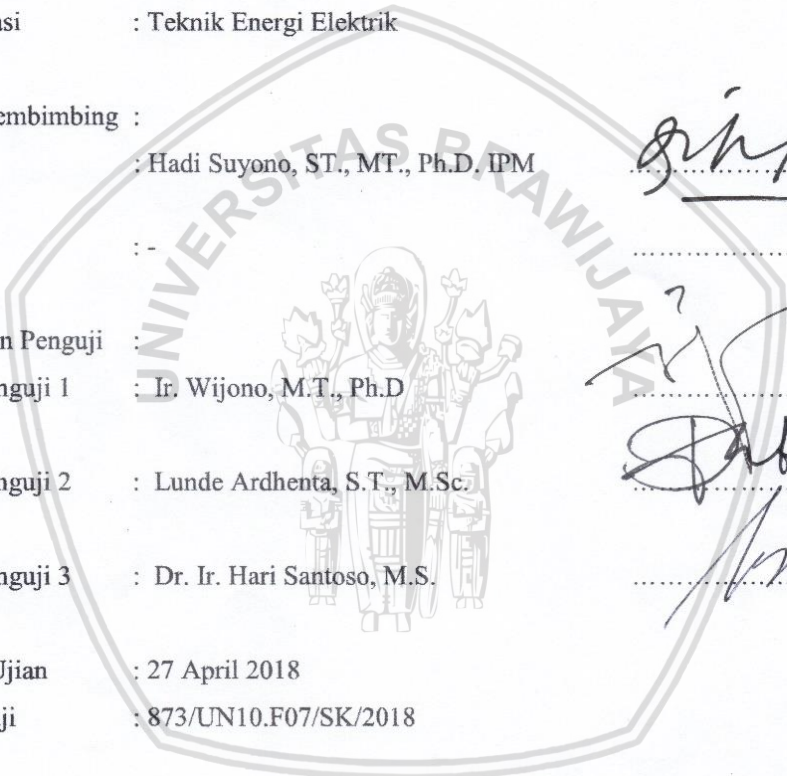


Dosen Penguji 3 : Dr. Ir. Hari Santoso, M.S.



Tanggal Ujian : 27 April 2018

SK Penguji : 873/UN10.F07/SK/2018



## PERNYATAAN ORISINALITAS SKRIPSI

Saya menyatakan dengan sebenar-benarnya bahwa sepanjang pengetahuan saya dan berdasarkan hasil penelusuran berbagai karya ilmiah, gagasan dan masalah ilmiah yang diteliti dan diulas di dalam Naskah Skripsi ini adalah asli dari pemikiran saya. Tidak terdapat karya ilmiah yang pernah diajukan oleh orang lain untuk memperoleh gelar akademik di suatu Perguruan Tinggi, dan tidak terdapat karya atau pendapat yang pernah ditulis atau diterbitkan oleh orang lain, kecuali yang secara tertulis dikutip dalam naskah ini dan disebutkan dalam sumber kutipan dan daftar pustaka.

Apabila ternyata di dalam naskah Skripsi ini dapat dibuktikan terdapat unsur-unsur jiplakan, saya bersedia Skripsi dibatalkan, serta diproses sesuai dengan peraturan perundang-undangan yang berlaku (UU No. 20 Tahun 2003, pasal 25 ayat 2 dan pasal 70).

Malang, 27 April 2018

**Mahasiswa,**

**SEPTI ULIYANI**

**NIM. 145060300111014**



*Teriring Ucapan Terima Kasih kepada:  
Ayahanda Albert R. Simarmata dan Ibunda Herlinda Simanjuntak Tercinta*





## RINGKASAN

**Septi Uliyani**, Jurusan Teknik Elektro, Fakultas Teknik Universitas Brawijaya, April 2018, *Analisis Perbandingan Relokasi Sectionalizer pada Penyulang Pujon untuk Meningkatkan Keandalan Sistem Distribusi Menggunakan Ant Colony Optimization dan Simulated Annealing Method*. Dosen Pembimbing: Hadi Suyono, Ir., S.T., M.T., Ph.D., IPM.

Meningkatnya kebutuhan tenaga listrik menuntut sistem distribusi tenaga listrik mempunyai tingkat keandalan yang baik. Penentuan posisi *sectionalizer* sangat penting dalam meningkatkan keandalan sistem tenaga listrik. Penambahan pembangkit terdistribusi juga dapat meningkatkan indeks keandalan sistem distribusi. Indeks keandalan yang umum digunakan pada sistem distribusi adalah SAIFI, SAIDI, dan CAIDI. Nilai SAIFI, SAIDI dan CAIDI dapat dihitung berdasarkan frekuensi kegagalan dan durasi gangguan yang terjadi dalam satu tahun. Keandalan dapat disimpulkan lebih baik jika nilai SAIFI, SAIDI, dan CAIDI lebih kecil

Penelitian ini bertujuan untuk menentukan penempatan *sectionalizer* pada penyulang Pujon yang terhubung dengan pembangkit terdistribusi. Metode yang digunakan adalah optimasi dengan *Ant Colony Optimization* (ACO) dan *Simulated Annealing* (SA) menggunakan *software* Matlab R2015a.

Hasil penelitian menunjukkan nilai indeks keandalan (SAIFI, SAIDI, dan CAIDI) penyulang Pujon kondisi eksisting sebesar 7,1697 kali/tahun, 22,2411 jam/tahun, 3,1021 jam/tahun. Nilai indeks keandalan (SAIFI, SAIDI, dan CAIDI) saat kondisi penambahan pembangkit terdistribusi (mikrohidro dan *wind turbine*) turun menjadi 7,1154 kali/tahun, 22,0657 jam/tahun, dan 3,031 jam/tahun. Nilai indeks keandalan (SAIFI, SAIDI, dan CAIDI) saat kondisi relokasi sebanyak 16 *sectionalizer* kondisi penambahan pembangkit terdistribusi (mikrohidro dan *wind turbine*) dengan metode SA turun menjadi 4,0179 kali/tahun, 12,11745 jam/tahun, dan 3,030065 jam/tahun. Nilai indeks keandalan (SAIFI, SAIDI, dan CAIDI) saat kondisi relokasi sebanyak 16 *sectionalizer* kondisi penambahan pembangkit terdistribusi (mikrohidro dan *wind turbine*) dengan metode ACO turun menjadi 4,0093 kali/tahun, 12,0887 jam/tahun, dan 3,01516 jam/tahun.

**Kata kunci:** *sectionalizer*, indeks keandalan, pembangkit terdistribusi, *Ant Colony Optimization*, *Simulated Annealing*

## SUMMARY

**Septi Uliyani**, Department of Electrical Engineering, Faculty of Engineering University of Brawijaya, April 2018, **Comparison Analysis of Sectionalizer Relocation in Pujon Feeder for Increasing Reliability of Distribution System Using Ant Colony Optimization and Simulated Annealing Method**, Academic Supervisor: Hadi Suyono, Ir., S.T., M.T., Ph.D., IPM.

*The increasing demand for electricity demanded the power distribution system has a good reliability. The determination of sectionalizer position is very important in reliability of electrical power system. The addition of distributed generation can increase the reliability index too. Reliability index used are SAIFI, SAIDI, and CAIDI. The value of SAIFI, SAIDI and CAIDI can be calculated from the failure rate and the outage duration in a year. Reliability can be concluded better if SAIFI, SAIDI, dan CAIDI smaller.*

*This research aimed to determined the placement of sectionalizer in Pujon feeder that connected with distributed generation. The method used are Ant Colony Optimization (ACO) and Simulated Annealing (SA). Using Matlab R2015a.*

*The results showed reliability index value (SAIFI, SAIDI, and CAIDI) in existing condition are 7,1697 failure/year, 22,2411 hours/year, and 3,1021 hours/year. The reliability index value (SAIFI, SAIDI, and CAIDI) after added by distributed generation (microhydro and wind turbine) are 7,1154 failure/year, 22,0657 hours/year, and 3,031 hours/year. The reliability index value (SAIFI, SAIDI, and CAIDI) in relocation 16 sectionalizer condition after added by distributed generation (microhydro and wind turbine) using SA method are 4,0179 failure/year, 12,11745 hours/year, and 3,030065 hours/year. The reliability index value (SAIFI, SAIDI, and CAIDI) in relocation 16 sectionalizer condition after added by distributed generation (microhydro and wind turbine) using ACO method are 4,0093 failure/year, 12,0887 hours/year, and 3,01516 hours/year.*

**Keywords:** sectionalizer, reliability index, distributed generation, Ant Colony Optimization, Simulated Annealing

## PENGANTAR

Puji syukur kehadiran Tuhan Yang Maha Esa atas berkat dan karunia-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan laporan skripsi yang berjudul “Analisis Perbandingan Relokasi *Sectionalizer* pada Penyulang Pujon untuk Meningkatkan Keandalan Sistem Distribusi Menggunakan *Ant Colony Optimization* dan *Simulated Annealing Method*”. Skripsi ini disusun sebagai salah satu syarat untuk mencapai gelar Sarjana Teknik dari Jurusan Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Brawijaya.

Penyusunan laporan skripsi ini tidak terlepas dari bantuan banyak pihak, baik secara langsung maupun tidak langsung. Untuk itu penulis mengucapkan terima kasih kepada:

1. Bapak Ir. Hadi Suyono, S.T., M.T., Ph.D. IPM selaku Ketua Jurusan Teknik Elektro Universitas Brawijaya.
2. Ibu Ir. Nurussa’adah, M.T. selaku Sekretaris Jurusan Teknik Elektro Universitas Brawijaya.
3. Bapak Ali Mustofa, S.T., M.T. selaku Ketua Program Studi Sarjana Teknik Elektro Universitas Brawijaya.
4. Ibu Dr. Rini Nur Hasanah, S.T., M.Sc selaku KKDK Konsentrasi Teknik Energi Elektrik yang telah banyak memberikan pengarahan, bimbingan dan saran yang membangun dalam penyelesaian skripsi ini.
5. Bapak Ir. Hadi Suyono, S.T., M.T., Ph.D. IPM selaku pembimbing utama, yang senantiasa memberikan ilmu, waktu, arahan, dan masukan yang baik dalam penelitian maupun penulisan skripsi ini.
6. Ibu Ir. Nurussa’adah, M.T. selaku dosen pembimbing akademik yang sabar dalam mengarahkan dalam perkuliahan selama ini.
7. Orang tua penulis, Bapak Ir. Albert Riduanto Simarmata, M.S., dan Mama Dra. Herlinda Simanjuntak atas segala doa, kasih sayang, pengorbanan, nasihat, perhatian, dan dukungan baik secara finansial maupun moral. Serta kakak dan adik tercinta, Bertuani Casella Simarmata, S.E., dan Apriani Sinta Marito Simarmata atas doa, semangat, motivasi, dan perhatiannya.



8. Para Dosen Pengajar, karyawan, pranata laboratorium di Program Studi Teknik Elektro Universitas Brawijaya, yang tidak dapat disebutkan satu per satu yang telah memberikan ilmu dan pengalaman dalam menyelesaikan studi.
9. PT. PLN (Persero) APJ Rayon Batu beserta para karyawan atas bantuan dan bimbingannya dalam memberikan data-data yang menunjang penulisan skripsi ini.
10. Bapak Ir. L. Kendys Manurung, M.H. (Mantan Manager PT. PLN (Persero) Area Palangkaraya) atas bimbingan, arahan, dan dukungannya baik teknis maupun non teknis.
11. Teman-teman seperjuangan skripsi (Imantaka, Anthony, Dimas, Amrul, Olivia, Wildan) yang saling mendukung dan memberikan semangat dalam pengerjaan skripsi.
12. Sahabat-sahabat penulis (Indah, Anang, Vio, Onang, Hans, Merthina, Emilita, Ido, Sipa, Sheny, Gallardio, Kefas, Even, Jordi, Frandi, Jane, Charles, Geraldly, Rana, Gralia, Aisha, Anis, Ratih, Adhif) atas dukungannya selama diperkuliahan.
13. Rekan-rekan Laboratorium Komputasi dan Jaringan (Mas Nugroho, Octa, Frido, Nadia, Novi, Gerdy, Indradianto, Rizar, Ditzza, Aidil, Hideo, Novia, Nisa) atas kerjasama dan dukungannya.
14. Teman-teman konsentrasi Teknik Energi Elektrik angkatan 2014, dan teman-teman DIODA 2014 atas segala dukungan dan motivasinya selama menjalani perkuliahan.
15. Teman-teman PMK Yehezkiel FTUB dan Komisi 2 PMK Yehezkiel 2017 atas doa, dukungan dan perhatiannya.
16. Teman-teman Departemen Eksternal EME 2017/2018 atas kerjasama dan dukungannya selama menjadi anggota.

Semoga Tuhan Yang Maha Esa membalas kebaikan semua pihak yang turut membantu skripsi ini terselesaikan. Penulis menyadari bahwa skripsi ini tidak luput dari kekurangan. Oleh karena itu kritik dan saran membangun diperlukan demi perbaikan kedepannya. Skripsi ini diharapkan dapat memberikan manfaat bagi kita semua. Amin.

Malang, April 2018

Penulis

## DAFTAR ISI

	Halaman
<b>PENGANTAR</b> .....	<b>iii</b>
<b>DAFTAR ISI</b> .....	<b>v</b>
<b>DAFTAR TABEL</b> .....	<b>vii</b>
<b>DAFTAR GAMBAR</b> .....	<b>xi</b>
<b>DAFTAR LAMPIRAN</b> .....	
<b>BAB I PENDAHULUAN</b> .....	Error! Bookmark not defined.
1.1 Latar Belakang.....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
1.2 Rumusan Masalah.....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
1.3 Batasan Masalah .....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
1.4 Tujuan.....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
1.5 Sistematika Penulisan .....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
<b>BAB II TINJAUAN PUSTAKA</b> .....	Error! Bookmark not defined.
2.1 Sistem Distribusi Tenaga Listrik .....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
2.2 Jaringan Distribusi Radial .....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
2.3 Keandalan .....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
2.3.1 Laju Kegagalan .....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
2.3.2 Keandalan Sistem Radial .....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
2.3.3 Frekuensi Gangguan Tiap Titik Beban .....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
2.3.4 Waktu Perbaikan Tiap Titik Beban .....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
2.3.5 Durasi Gangguan Rata-rata Tiap Titik Beban.....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
<b>defined.</b>	
2.4 Indeksi Keandalan Sistem Distribusi 20 kV Sisi Pelanggan .....	
2.4.1 <i>System Average Interruption Frequency Index (SAIFI)</i> .....	<b>Error!</b>
<b>Bookmark not defined.</b>	
2.4.2 <i>System Average Interruption Duration Index (SAIDI)</i> .....	
2.4.3 <i>Costumer Average Interruption Duration Index (CAIDI)</i> .....	<b>Error!</b>
<b>Bookmark not defined.</b>	
2.5 Sistem Proteksi Tenaga Listrik.....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
2.6 Pemodelan Jaringan Radial.....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>

2.7 Pembangkit Terdistribusi (*Distributed Generation*) **Error! Bookmark not defined.**

2.7.1 Pembangkit Listrik Tenaga Mikro Hidro (PLTMH) **Error! Bookmark not defined.**

2.7.2 Pembangkit Listrik Tenaga Angin (*Wind Turbine*) **Error! Bookmark not defined.**

2.8 Optimasi.....**Error! Bookmark not defined.**

2.9 *Ant Colony Optimization* .....**Error! Bookmark not defined.**

2.10 *Simulated Annealing Method*.....

**BAB III METODE PENELITIAN**.....

3.1 Diagram Alir Penelitian.....**Error! Bookmark not defined.**

3.2 Pengambilan Data.....**Error! Bookmark not defined.**

3.3 Perhitungan Nilai Indeks Keandalan Kondisi Eksisting **Error! Bookmark not defined.**

3.4 Perhitungan Indeks Keandalan dengan Penambahan Pembangkit Terdistribusi..

3.5 Relokasi Penempatan *Sectionalizer* dengan Penambahan Pembangkit Terdistribusi.....**Error! Bookmark not defined.**

3.5.1 Menggunakan *Ant Colony Optimization* **Error! Bookmark not defined.**

3.5.2 Menggunakan *Simulated Annealing Method* **Error! Bookmark not defined.**

3.5.3 Membandingkan Hasil dari *Ant Colony Optimization* dan *Simulated Annealing Method* .....**Error! Bookmark not defined.**

3.6 Penarikan Kesimpulan dan Saran .....

**BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN**.....

4.1 Penyulang Pujon Gardu Induk Sengkaling.....

4.2 Pembangkit Terdistribusi.....

4.2.1 Pembangkit Listrik Tenaga Angin (*Wind Turbine*) .....

4.2.2 Pembangkit Listrik Tenaga Mikrohidro (PLTMH) .....

4.3 Perhitungan Indeks Keandalan Sistem Distribusi Penyulang Pujon Kondisi Eksisting .....

4.4 Perhitungan Indeks Keandalan Sistem Distribusi Penyulang Pujon Kondisi Penambahan Pembangkit Terdistribusi .....

4.5 Perbandingan Kondisi Eksisting dengan Penambahan Pembangkit Terdistribusi. ....



4.6 Analisis Indeks Keandalan Sistem Distribusi Penyulang Pujon dengan *Simulated Annealing Method (SA)*.....

4.6.1 Skenario Percobaan Variasi *Enorm* .....

4.7 Analisis Indeks Keandalan Sistem Distribusi Penyulang Pujon dengan *Ant Colony Optimization (ACO)*.....

4.7.1 Skenario Percobaan Variasi *Rho*.....

4.8 Perbandingan Relokasi *Sectionalizer* Menggunakan *Ant Colony Optimization* dengan *Simulated Annealing Method* .....

**BAB V PENUTUP** .....Error! Bookmark not defined.

5.1 Kesimpulan .....**Error! Bookmark not defined.**

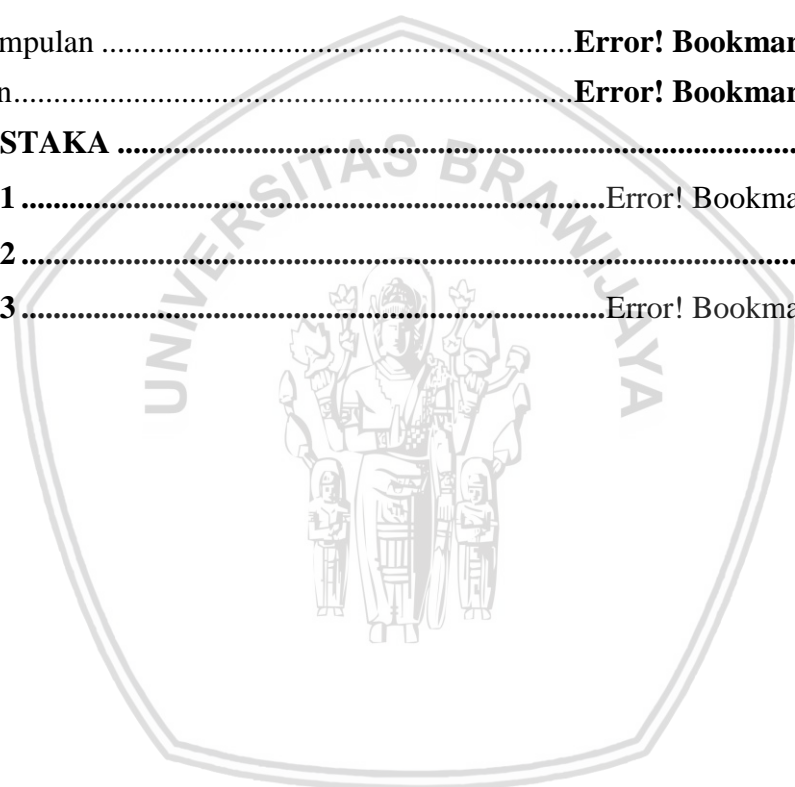
5.2 Saran.....**Error! Bookmark not defined.**

**DAFTAR PUSTAKA** .....

**LAMPIRAN 1** .....Error! Bookmark not defined.

**LAMPIRAN 2** .....

**LAMPIRAN 3** .....Error! Bookmark not defined.



## DAFTAR TABEL

Nomor	Judul	Halaman
Tabel 4.1	Spesifikasi Penyulang Pujon .....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
Tabel 4.2	Transformator 3 Penyulang Pujon Gardu Induk Sengkaling.....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
Tabel 4.3	Data Laju Kegagalan, Waktu Pemadaman dan Pemindehan Peralatan Distribusi .....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
Tabel 4.4	Data Spesifikasi Pembangkit <i>Wind Turbine</i> .....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
Tabel 4.5	Data Spesifikasi Pembangkit Mikrohidro .....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
Tabel 4.6	Hasil Perhitungan Indeks Keandalan Kondisi Eksisting.....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
Tabel 4.7	Hasil Perhitungan Indeks Keandalan Kondisi Penambahan Pembangkit Terdistribusi.....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
Tabel 4.8	Perbandingan Indeks Keandalan Kondisi Eksisting dengan Penambahan Pembangkit Terdistribusi.....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
Tabel 4.9	Parameter Optimasi Perhitungan Menggunakan SA.....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
Tabel 4.10	Skenario Percobaan Kondisi Grid – <i>Wind Turbine</i> dengan 8 <i>Sectionalizer</i> .....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
Tabel 4.11	Skenario Percobaan Kondisi Grid – <i>Wind Turbine</i> dengan 9 <i>Sectionalizer</i> .....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
Tabel 4.12	Skenario Percobaan Kondisi Grid – <i>Wind Turbine</i> dengan 12 <i>Sectionalizer</i> .....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
Tabel 4.13	Skenario Percobaan Kondisi Grid – <i>Wind Turbine</i> dengan 16 <i>Sectionalizer</i> .....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
Tabel 4.14	Skenario Percobaan Kondisi Grid – Mikrohidro dengan 8 <i>Sectionalizer</i> ..	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
Tabel 4.15	Skenario Percobaan Kondisi Grid – Mikrohidro dengan 9 <i>Sectionalizer</i> ..	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
Tabel 4.16	Skenario Percobaan Kondisi Grid – Mikrohidro dengan 12 <i>Sectionalizer</i> ..	<b>Error! Bookmark not defined.</b>



Tabel 4.17 Skenario Percobaan Kondisi Grid – Mikrohidro dengan 16 *Sectionalizer* **Error! Bookmark not defined.**

Tabel 4.18 Skenario Percobaan Kondisi Grid – *Wind Turbine* – Mikrohidro dengan 8 *Sectionalizer* ..... **Error! Bookmark not defined.**

Tabel 4.19 Skenario Percobaan Kondisi Grid – *Wind Turbine* – Mikrohidro dengan 9 *Sectionalizer* ..... **Error! Bookmark not defined.**

Tabel 4.20 Skenario Percobaan Kondisi Grid – *Wind Turbine* – Mikrohidro dengan 12 *Sectionalizer* ..... **Error! Bookmark not defined.**

Tabel 4.21 Skenario Percobaan Kondisi Grid – *Wind Turbine* – Mikrohidro dengan 16 *Sectionalizer* ..... **Error! Bookmark not defined.**

Tabel 4.22 Parameter Optimasi Perhitungan Menggunakan ACO **Error! Bookmark not defined.**

Tabel 4.23 Skenario Percobaan Kondisi Grid – *Wind Turbine* dengan 8 *Sectionalizer* ..... **Error! Bookmark not defined.**

Tabel 4.24 Skenario Percobaan Kondisi Grid – *Wind Turbine* dengan 9 *Sectionalizer* ..... **Error! Bookmark not defined.**

Tabel 4.25 Skenario Percobaan Kondisi Grid – *Wind Turbine* dengan 12 *Sectionalizer* ..... **Error! Bookmark not defined.**

Tabel 4.26 Skenario Percobaan Kondisi Grid – *Wind Turbine* dengan 16 *Sectionalizer* ..... **Error! Bookmark not defined.**

Tabel 4.27 Skenario Percobaan Kondisi Grid – Mikrohidro dengan 8 *Sectionalizer* .. **Error! Bookmark not defined.**

Tabel 4.28 Skenario Percobaan Kondisi Grid – Mikrohidro dengan 9 *Sectionalizer* .. **Error! Bookmark not defined.**

Tabel 4.29 Skenario Percobaan Kondisi Grid – Mikrohidro dengan 12 *Sectionalizer* **Error! Bookmark not defined.**

Tabel 4.30 Skenario Percobaan Kondisi Grid – Mikrohidro dengan 16 *Sectionalizer* **Error! Bookmark not defined.**

Tabel 4.31 Skenario Percobaan Kondisi Grid – *Wind Turbine* – Mikrohidro dengan 8 *Sectionalizer* ..... **Error! Bookmark not defined.**

Tabel 4.32 Skenario Percobaan Kondisi Grid – *Wind Turbine* – Mikrohidro dengan 9 *Sectionalizer* ..... **Error! Bookmark not defined.**

Tabel 4.33 Skenario Percobaan Kondisi Grid – *Wind Turbine* – Mikrohidro dengan 12 *Sectionalizer* ..... **Error! Bookmark not defined.**

Tabel 4.34 Skenario Percobaan Kondisi Grid – *Wind Turbine* – Mikrohidro dengan 16 *Sectionalizer* ..... **Error! Bookmark not defined.**

Tabel 4.35 Skenario Percobaan Kondisi Grid – *Wind Turbine*..... **Error! Bookmark not defined.**

Tabel 4.36 Skenario Percobaan Kondisi Grid – Mikrohidro..... **Error! Bookmark not defined.**

Tabel 4.37 Skenario Percobaan Kondisi Grid – *Wind Turbine* – Mikrohidro..... **Error! Bookmark not defined.**



**DAFTAR GAMBAR**

Nomor	Judul	Halaman
Gambar 2.1	Sistem Seri Jaringan Radial.....	6
Gambar 2.2	Grafik $\text{Min } f(x) = - \text{Max } f(x)$ .....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
Gambar 3.1	Diagram Alir Penelitian .....	17
Gambar 3.2	Diagram Alir <i>Ant Colony Optimization</i> .....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
Gambar 3.3	Diagram Alir <i>Simulated Annealing Method</i> ....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
Gambar 4.1	<i>Single Line Diagram</i> Penyulang Pujon .....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
Gambar 4.2	Laju Kegagalan dan Waktu Pemadaman <i>Wind Turbine</i> pada <i>Software</i> Etap 12.6.0 .....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
Gambar 4.3	Laju Kegagalan dan Waktu Pemadaman Mikrohidro pada <i>Software</i> Etap 12.6.0 .....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
Gambar 4.4	Hasil <i>Best SAIFI</i> Kondisi Grid – <i>Wind Turbine</i> – Mikrohidro dengan <i>Enorm</i> $1e - 3$ .....	32
Gambar 4.5	Hasil <i>Best SAIDI</i> Kondisi Grid – <i>Wind Turbine</i> – Mikrohidro dengan <i>Enorm</i> $1e - 3$ .....	33
Gambar 4.6	Hasil <i>Best Fitness</i> Kondisi Grid – <i>Wind Turbine</i> – Mikrohidro dengan <i>Enorm</i> $1e - 3$ .....	33
Gambar 4.7	Hasil <i>Best SAIDI</i> Kondisi Grid – Mikrohidro dengan <i>Enorm</i> $1e - 3$ .....	36
Gambar 4.8	Hasil <i>Best SAIFI</i> Kondisi Grid – Mikrohidro dengan <i>Enorm</i> $1e - 3$ .....	37
Gambar 4.9	Hasil <i>Best Fitness</i> Kondisi Grid – Mikrohidro dengan <i>Enorm</i> $1e - 3$ .....	37
Gambar 4.10	Hasil <i>Best SAIFI</i> Kondisi Grid – <i>Wind Turbine</i> – Mikrohidro dengan <i>Enorm</i> $1e - 3$ .....	40
Gambar 4.11	Hasil <i>Best SAIDI</i> Kondisi Grid – <i>Wind Turbine</i> – Mikrohidro dengan <i>Enorm</i> $1e - 3$ .....	41
Gambar 4.12	Hasil <i>Best Fitness</i> Kondisi Grid – <i>Wind Turbine</i> – Mikrohidro dengan <i>Enorm</i> $1e - 3$ .....	41
Gambar 4.13	Hasil <i>Best SAIFI</i> Kondisi Grid – <i>Wind Turbine</i> dengan <i>Rho</i> 0,1 .....	46
Gambar 4.14	Hasil <i>Best SAIDI</i> Kondisi Grid – <i>Wind Turbine</i> dengan <i>Rho</i> 0,1.....	46
Gambar 4.15	Hasil <i>Best Fitness</i> Kondisi Grid – <i>Wind Turbine</i> dengan <i>Rho</i> 0,1 .....	47
Gambar 4.16	Hasil <i>Best SAIFI</i> Kondisi Grid – Mikrohidro dengan <i>Rho</i> 0,1 .....	50
Gambar 4.17	Hasil <i>Best SAIDI</i> Kondisi Grid – Mikrohidro dengan <i>Rho</i> 0,1 .....	50



Gambar 4.18 Hasil *Best Fitness* Kondisi Grid – Mikrohidro dengan *Rho* 0,1 ..... 51

Gambar 4.19 Hasil *Best SAIFI* Kondisi Grid – *Wind Turbine* - Mikrohidro dengan *Rho* 0,1  
..... 54

Gambar 4.20 Hasil *Best SAIDI* Kondisi Grid – *Wind Turbine* - Mikrohidro dengan *Rho* 0,1  
..... 54

Gambar 4.21 Hasil *Best Fitness* Kondisi Grid – *Wind Turbine* - Mikrohidro dengan *Rho* 0,1  
..... 55



## DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1: Listing Program.....	67
Lampiran 2: Waktu Program dan Spesifikasi Laptop.....	90
Lampiran 3: Lokasi dan Grafik Percobaan .....	94





## BAB I PENDAHULUAN

### 1.1 Latar Belakang

Listrik merupakan salah satu energi yang penting dalam kehidupan manusia. Kebutuhan energi listrik terus meningkat dari tahun ke tahun seiring dengan bertambahnya penduduk dan bertumbuhnya perekonomian. Peningkatan kebutuhan energi listrik juga menuntut sistem distribusi tenaga listrik yang mempunyai tingkat keandalan yang baik. Keandalan dari suatu sistem distribusi tenaga listrik dibutuhkan untuk menjamin kontinuitas penyaluran tenaga listrik hingga ke konsumen (Salim, 2016)

Pembangunan pembangkit listrik terdistribusi (*distributed generation*) menjadi salah satu alternatif untuk mengatasi meningkatnya kebutuhan energi listrik. Pembangkit terdistribusi merupakan sistem pembangkitan listrik berkapasitas kecil yang terletak pada sistem distribusi dimana penyaluran energi listrik yang dihasilkan bersifat tersebar di beberapa tempat. Penambahan pembangkit terdistribusi memberikan keuntungan yaitu dapat mengurangi rugi-rugi daya pada sistem (Adiatma, 2015:80) serta meningkatkan efisiensi dan keandalan sistem tenaga listrik.

Dalam sistem distribusi tenaga listrik, sering terjadi berbagai macam gangguan dan kerusakan yang dapat mengakibatkan terganggunya penyaluran tenaga listrik dan mempengaruhi keandalan sistem. Jumlah pemadaman atau gangguan dari suatu sistem tenaga listrik menjadi acuan untuk menentukan keandalan dalam sistem tersebut. Beberapa parameter keandalan dalam jaringan distribusi dapat diukur melalui indeks rata-rata durasi gangguan sistem (*System Average Interruption Duration Index / SAIDI*), indeks rata-rata frekuensi gangguan sistem (*System Average Interruption Frequency Index / SAIFI*), dan indeks rata-rata gangguan pelanggan (*Customer Average Interruption Duration Index / CAIDI*). Semakin tinggi angka SAIDI dan SAIFI menunjukkan rendahnya tingkat keandalan dan tingkat pelayanan ke pelanggan. Salah satu cara meningkatkan keandalan pada jaringan distribusi berdasarkan indeks keandalan adalah dengan menentukan jumlah dan letak *sectionalizer* (Rones, 2013).

Dalam penelitian terdahulu, telah dilakukan kajian untuk relokasi penempatan *sectionalizer* dengan metode *section technique*. Pada penelitian kali ini digunakan metode

*artificial intelligence* yaitu *Ant Colony Optimization* (ACO) dan *Simulated Annealing Method* (SA) dengan bantuan software MATLAB R2015a untuk perhitungan nilai indeks keandalan yaitu SAIFI, SAIDI, dan CAIDI serta relokasi penempatan *sectionalizer*.

ACO digunakan dalam persoalan yang kompleks dengan banyak variabel. ACO termasuk *Swarm Intelligence* yang digunakan untuk menyelesaikan masalah optimasi, walaupun tidak optimal namun mendekati optimal. SA digunakan dalam persoalan optimasi dengan ruang pencarian solusi yang besar dengan keunggulan yaitu proses optimasinya yang lebih cepat.

## 1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang yang telah dijelaskan sebelumnya, maka rumusan masalah yang dapat dibahas dalam penelitian ini adalah:

1. Berapa nilai indeks keandalan sistem distribusi kondisi eksisting.
2. Berapa nilai indeks keandalan sistem distribusi kondisi penambahan pembangkit terdistribusi tanpa relokasi dan penambahan *sectionalizer*.
3. Berapa nilai indeks keandalan sistem distribusi berdasarkan nilai SAIFI, SAIDI dan CAIDI kondisi penambahan pembangkit terdistribusi setelah relokasi dan penambahan *sectionalizer* dengan metode SA.
4. Berapa nilai indeks keandalan sistem distribusi berdasarkan nilai SAIFI, SAIDI dan CAIDI kondisi penambahan pembangkit terdistribusi setelah relokasi dan penambahan *sectionalizer* dengan metode ACO.
5. Bagaimana perbandingan optimasi dan relokasi penyulang Pujon dengan metode *Ant Colony Optimization* dan *Simulated Annealing*

## 1.3 Batasan Masalah

Berdasarkan rumusan masalah tersebut, batasan masalah dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Penelitian dilakukan pada penyulang Pujon wilayah Rayon Batu Area Pelayanan Jaringan Malang PT. PLN (Persero) Distribusi Jawa Timur.
2. Keandalan yang dianalisis hanya berdasarkan laju kegagalan dan waktu keluar komponen pada sistem distribusi penyulang Pujon.
3. Tidak membahas biaya yang dibutuhkan dalam perencanaan relokasi *sectionalizer*.
4. Mengabaikan proteksi lain dalam optimalisasi penempatan *sectionalizer*.
5. Tidak membahas pengaruh secara keseluruhan dari pembangkit terdistribusi terhadap sistem distribusi, hanya pengaruhnya dalam nilai indeks keandalan.

6. Metode *Ant Colony Optimization* dan *Simulated Annealing* hanya digunakan untuk penentuan relokasi penempatan *sectionalizer* berdasarkan indeks keandalan SAIDI dan SAIFI.

#### 1.4 Tujuan

Dari latar belakang tersebut, maka tujuan penelitian ini adalah:

1. Menganalisis nilai indeks keandalan berdasarkan parameter keandalan sistem distribusi pada kondisi eksisting dan kondisi perencanaan relokasi *sectionalizer*.
2. Menganalisis dan mengoptimalkan penempatan *sectionalizer* pada jaringan distribusi menggunakan *Ant Colony Optimization* dan *Simulated Annealing Method* dengan bantuan *software* MATLAB R2015a.
3. Menganalisis perbandingan metode *Ant Colony Optimization* dan *Simulated Annealing* dalam penentuan relokasi penempatan *sectionalizer* berdasarkan indeks keandalan SAIDI, SAIFI, dan CAIDI.

#### 1.5 Sistematika Penulisan

Sistematika penulisan penelitian ini terdiri dari lima bab, yaitu:

##### BAB I PENDAHULUAN

Bab ini berisi tentang latar belakang, rumusan masalah, batasan masalah, tujuan, dan sistematika penulisan.

##### BAB II DASAR TEORI

Bab ini berisi tentang hasil dari studi pustaka yang akan digunakan sebagai pedoman dasar dalam penelitian ini.

##### BAB III METODOLOGI PENELITIAN

Bab ini berisi tentang metode yang digunakan meliputi studi literatur, pengambilan data, perhitungan, prosedur simulasi, dan analisis.

##### BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

Bab ini berisi tentang hasil dan analisis simulasi program berupa perbandingan penempatan *sectionalizer* yang paling optimal menggunakan *software* Matlab R2015a.

##### BAB V KESIMPULAN DAN SARAN

Bab ini berisi tentang kesimpulan hasil penelitian dan saran yang diberikan sehubungan dengan penelitian selanjutnya.

## BAB II

### TINJAUAN PUSTAKA

#### 2.1 Sistem Distribusi Tenaga Listrik

Sistem distribusi merupakan bagian dari sistem tenaga listrik yang berfungsi untuk menyalurkan energi listrik dari sumber daya listrik besar/gardu induk sampai ke pelanggan/konsumen. Fungsi sistem distribusi tenaga listrik yaitu pembagian atau penyaluran tenaga listrik ke pelanggan dan sebagai sub sistem tenaga listrik yang langsung berhubungan dengan pelanggan, karena catu daya pada pusat-pusat beban (pelanggan) dilayani langsung melalui jaringan distribusi (Suhadi dkk, 2008, p.11). Jaringan distribusi primer menyalurkan energi listrik dari gardu induk distribusi ke trafo distribusi menggunakan tegangan menengah 20 kV. Jaringan distribusi sekunder menyalurkan energi listrik dari trafo distribusi ke pelanggan menggunakan tegangan rendah 220/380V (Gönen, 1987) Penyaluran energi listrik dapat menggunakan saluran udara, kabel udara maupun kabel tanah berdasarkan kondisi lingkungan dan tingkat keandalan yang diinginkan.

#### 2.2 Jaringan Distribusi Radial

Merupakan bentuk dasar dari suatu jaringan dengan saluran ditarik secara radial dari suatu titik sumber, kemudian dicabang-cabangkan ke titik-titik beban yang dilayani. Kelebihan dari bentuk jaringan ini yaitu bentuk yang sederhana dan biaya investasi yang relatif murah. Kelemahan dari jaringan ini yaitu kualitas pelayanan daya relatif buruk, karena rugi tegangan dan rugi daya yang terjadi pada saluran relatif besar serta kontinuitas pelayanan daya tidak terjamin. Hal ini dikarenakan antara titik sumber dan titik beban hanya ada satu alternatif saluran, sehingga bila saluran tersebut mengalami gangguan maka seluruh rangkaian sesudah titik gangguan akan mengalami *black out* secara total. Untuk melokalisir gangguan pada bentuk radial ini biasanya dilengkapi dengan peralatan pengaman berupa *fuse*, *sectionalizer*, *recloser* atau alat pemutus beban lainnya. Peralatan ini berfungsi hanya membatasi daerah yang mengalami pemadaman total, yaitu daerah saluran sesudah atau dibelakang titik gangguan, selama gangguan belum teratasi.

**2.3 Keandalan**

Keandalan secara umum merupakan kemungkinan sistem berfungsi dengan baik untuk jangka waktu tertentu (Dhillon, 2006). Sedangkan keandalan sistem distribusi dapat didefinisikan sebagai peluang atau kemungkinan suatu komponen atau sistem distribusi dalam memenuhi fungsi yang dibutuhkan dalam periode dan kondisi tertentu (Sukerayasa, 2007). Ukuran keandalan dapat ditentukan dari seberapa sering sistem mengalami pemadaman, berapa lama pemadaman terjadi dan berapa cepat waktu yang dibutuhkan untuk memulihkan kondisi dari pemadaman yang terjadi. Sistem yang mempunyai keandalan yang tinggi akan mampu memberikan tenaga listrik yang baik.

**2.3.1 Laju Kegagalan**

Laju kegagalan ( $\lambda$ ) adalah nilai dari frekuensi kegagalan dalam suatu komponen/sistem dalam selang waktu pengamatan (kegagalan per tahun). Persamaan laju kegagalan ditunjukkan melalui Persamaan (2-1) berikut:

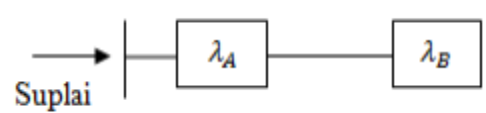
$$\lambda = \frac{f}{T} \dots\dots\dots(2-1)$$

keterangan :

- $\lambda$  = laju kegagalan konstan (kegagalan/tahun)
- $f$  = banyaknya kegagalan yang terjadi selama selang waktu tertentu
- $T$  = jumlah selang waktu pengamatan (tahun)

**2.3.2 Keandalan Sistem Radial**

Pada sistem radial, komponen satu dengan yang lain dihubungkan secara seri. Misalkan, sebuah penyulang tersusun secara seri antara *sectionalizer*, saluran, dan trafo distribusi. Susunan seri antar komponen secara sederhana ditunjukkan pada Gambar 2.1.



Gambar 2.1 Sistem Seri Jaringan Radial  
 Sumber: Azzahraninna, T. 2015



**2.3.3 Frekuensi Gangguan Tiap Titik Beban**

Frekuensi gangguan merupakan penjumlahan laju kegagalan dari semua peralatan yang berpengaruh pada titik beban. Untuk mencari frekuensi gangguan tiap titik beban ditunjukkan pada Persamaan (2-2).

$$\lambda_{TB} = \sum_{i=1}^n \lambda_i \dots\dots\dots (2-2)$$

keterangan :

$\lambda_{TB}$  = frekuensi gangguan tiap *load point*

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

$n$  = jumlah terjadinya kegagalan yang mempengaruhi titik beban p

**2.3.4 Waktu Perbaikan Tiap Titik Beban**

Waktu perbaikan ( $r$ ) adalah lamanya waktu yang digunakan untuk melakukan perbaikan dari terjadinya kegagalan sampai kondisi peralatan/sistem dapat beroperasi kembali (Utami., 2013). Untuk mencari waktu perbaikan tiap titik beban ditunjukkan pada Persamaan (2-3).

$$r_{TB} = \sum_{j=1}^n r_j \dots\dots\dots (2-3)$$

keterangan :

$r_j$  = waktu perbaikan komponen (jam)

**2.3.5 Durasi Gangguan Rata-rata Tiap Titik Beban**

Durasi gangguan rata-rata merupakan jumlah lamanya pemadaman yang dialami pelanggan/konsumen dibagi dengan jumlah konsumen yang dilayani. Untuk mencari durasi gangguan rata-rata tiap titik beban ditunjukkan pada Persamaan (2-4).

$$U_p = \sum_{i=1}^n U_{TB} = \sum_{i=1}^n \lambda_i \times r_j \dots\dots\dots (2-4)$$

keterangan :

$U_p$  = durasi gangguan rata-rata tiap *load point* p

$U_{TB}$  = durasi gangguan rata-rata komponen

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

$r_j$  = waktu perbaikan komponen (jam)

**2.4 Indeksi Keandalan Sistem Distribusi 20 kV Sisi Pelanggan**

Beberapa parameter yang digunakan untuk menunjukkan indeks keandalan dari suatu sistem distribusi listrik antara lain yaitu SAIFI, SAIDI, dan CAIDI.

**2.4.1 System Average Interruption Frequency Index (SAIFI)**

Indeks ini didefinisikan sebagai jumlah rata-rata pelanggan mengalami gangguan selama periode waktu tertentu (umumnya per tahun). Nilai SAIFI dapat dihitung menggunakan Persamaan (2-5) dan Persamaan (2-6).

$$SAIFI = \frac{\text{total gangguan pelanggan}}{\text{total pelanggan yang dilayani}} \dots\dots\dots (2-5)$$

$$= \frac{\sum N_{TB} \times \lambda_{TB}}{\sum N} \dots\dots\dots (2-6)$$

Sumber: PT. PLN Persero, 2012

keterangan :

$N_{TB}$  = jumlah pelanggan pada titik beban

$N$  = jumlah seluruh pelanggan dalam sistem

$\lambda_{TB}$  = frekuensi gangguan (pemadaman/tahun)

**2.4.2 System Average Interruption Duration Index (SAIDI)**

Indeks ini didefinisikan sebagai durasi rata-rata pelanggan selama periode waktu tertentu (umumnya per tahun). Nilai SAIDI dapat dihitung menggunakan Persamaan (2-7) dan Persamaan (2-8).

$$SAIDI = \frac{\text{total durasi gangguan pelanggan}}{\text{total pelanggan yang dilayani}} \dots\dots\dots (2-7)$$

$$= \frac{\sum N_{TB} \times U_{TB}}{\sum N} = \frac{\sum \lambda_i \times r_j}{\sum N} \dots\dots\dots (2-8)$$

Sumber: PT. PLN Persero, 2012

keterangan :

$N_{TB}$  = jumlah pelanggan pada titik beban

$N$  = jumlah seluruh pelanggan dalam sistem

$\lambda_{TB}$  = durasi gangguan masing-masing titik beban (jam)

**2.4.3 Costumer Average Interruption Duration Index (CAIDI)**

Indeks ini didefinisikan sebagai waktu rata-rata yang dibutuhkan untuk memulihkan gangguan. Nilai CAIDI dapat dihitung menggunakan Persamaan (2-9)

$$CAIDI = \frac{\text{total durasi gangguan pelanggan}}{\text{total pelanggan terganggu}} = \frac{SAIDI}{SAIFI} \dots\dots\dots (2-9)$$

Sumber: PT. PLN Persero, 2012

**2.5 Sistem Proteksi Tenaga Listrik**

Saklar seksi otomatis atau *sectionalizer* adalah alat pemutus untuk mengurangi luas daerah yang padam karena gangguan. Penggunaan *sectionalizer* dapat mengurangi jumlah konsumen yang mengalami pemadaman dan membatasi daerah terjadinya gangguan.

Ada dua jenis *sectionalizer* yaitu dengan pengindera arus yang disebut *Automatic Sectionalizer* dan pengindera tegangan yang disebut *Automatic Vacuum Switch (AVS)*. Agar *sectionalizer* berfungsi dengan baik, harus dikoordinasikan dengan *recloser* yang ada di sisi hulu. Apabila tidak dikoordinasikan dengan *recloser*, *sectionalizer* hanya akan berfungsi sebagai saklar biasa (Suhadi dkk, 2008, p.351).

*Sectionalizer* bekerja dengan cara menghitung jumlah gangguan yang disebabkan membukanya rele pada *recloser* dan akan membuka secara permanen apabila hitungan sudah melebihi hitungan setelan yang sudah ditetapkan (dua atau tiga hitungan). Penghitungan *sectionalizer* akan kembali ke hitungan awal jika gangguan telah hilang ketika *recloser* membuka. Jika gangguan masih ada ketika rangkaian tertutup kembali, maka penghitungan arus gangguan pada *sectionalizer* akan kembali pada penghitungan selanjutnya dari bukaan *recloser*.

**2.6 Pemodelan Jaringan Radial**

Pada rangkaian radial, analisis keandalan menggunakan kombinasi seri dari unsur individu. Seri elemen dikombinasikan seperti Persamaan (2-10), Persamaan (2-11), dan Persamaan (2-12).

$$\lambda_s = \lambda_1 + \lambda_2 + \dots + \lambda_n \dots\dots\dots (2-10)$$

$$U_s = U_1 + U_2 + \dots + U_n = \lambda_1 r_1 + \lambda_2 r_2 + \dots + \lambda_n r_n \dots\dots\dots (2-11)$$

$$r_s = \frac{U_s}{\lambda_s} \dots\dots\dots (2-12)$$

- dimana:
- $\lambda$  = laju kegagalan per tahun (gangguan/tahun)
  - $U$  = durasi gangguan
  - $r$  = waktu perbaikan komponen (jam)

Subskrip  $S$  adalah total dari seri kombinasi, dan subskrip 1, 2,...,  $n$  menunjukkan parameter-parameter dari unsur-unsur individu. Laju kegagalan  $\lambda$  analog dengan SAIFI,  $U$  analog dengan SAIDI, dan  $r$  analog dengan CAIDI. Dasaran ini dapat digunakan untuk memperkirakan indeks rangkaian radial.

**2.7 Pembangkit Terdistribusi (*Distributed Generation*)**

Pembangkit terdistribusi (*distributed generation*) merupakan sistem pembangkitan listrik berkapasitas kecil yang terletak pada sistem distribusi dimana penyaluran energi listrik yang dihasilkan bersifat tersebar di beberapa tempat.

Penambahan pembangkit terdistribusi memberikan banyak keuntungan pada sistem tenaga listrik, yaitu dapat meningkatkan efisiensi dan keandalan sistem tenaga listrik, profil tegangan pada jaringan distribusi, dan jaringan transmisi yang pendek sehingga akan efektif menekan efek rugi daya pada saluran sistem tenaga listrik. Selain itu, pembangkit terdistribusi juga identik dengan sumber energi listrik yang bersifat ramah lingkungan dan cukup handal dalam kinerjanya. Pembangkit terdistribusi dalam perkembangannya, dapat dibedakan menurut sumber energi utamanya antara lain Pembangkit Tenaga Listrik Tenaga Turbin Angin (*Wind Turbine*) dan Pembangkit Listrik Tenaga Mikrohidro (PLTMH).

**2.7.1 Pembangkit Listrik Tenaga Mikro Hidro (PLTMH)**

Pembangkit Listrik Tenaga Mikrohidro (PLTMH) adalah pembangkit listrik berskala kecil. Pembangkit ini memanfaatkan energi air sebagai penggerakannya, misalnya saluran irigasi, sungai dan air terjun dengan memanfaatkan ketinggian jatuh air (*head*) dan jumlah debit air yang mengalir. Kondisi energi air yang dimanfaatkan memiliki kapasitas aliran maupun ketinggian tertentu, dimana semakin besar kapasitas aliran dan ketinggian maka semakin besar energi listrik yang dihasilkan. Pembangkit listrik tenaga mikrohidro bekerja dengan memanfaatkan energi potensial air. Energi ini diubah menjadi energi mekanik dengan memutar sudut-sudut turbin. Energi mekanik dari putaran turbin tersebut kemudian diubah menjadi energi listrik melalui putaran generator.

Untuk menghitung daya mekanik yang dibangkitkan oleh turbin dapat ditentukan melalui Persamaan (2-10).

$$P = 9,8 \eta H Q \dots\dots\dots (2-10)$$

Sumber: Utomo.,2010:28

keterangan :

$P$  = daya terbangkit (kW)

$H$  = tinggi air terjun (m)

$Q$  = debit air (m<sup>3</sup>/detik)

$\eta$  = efisiensi turbin generator

### 2.7.2 Pembangkit Listrik Tenaga Angin (*Wind Turbine*)

Energi angin merupakan salah satu sumber daya energi terbarukan. Sistem energi angin memanfaatkan energi kinetik dan mengubahnya menjadi energi listrik. Energi kinetik dari perpindahan udara horizontal diubah menjadi energi kinetik rotasi turbin melalui sejumlah baling-baling yang porosnya terhubung. Rotasi ini kemudian diubah menjadi energi listrik dengan menggunakan generator tenaga listrik. Pembangkit ini dihubungkan sebagai instalasi kecil ke jaringan tegangan rendah atau menengah (Bollen, 2011)

Energi listrik yang diproduksi turbin angin tergantung pada interaksi antara rotor turbin angin dan angin, sehingga keluaran daya ditentukan oleh kecepatan angin rata-rata dan turbulensi diabaikan. Daya yang dapat dihasilkan oleh pembangkit listrik tenaga angin dapat ditentukan dari Persamaan (2-11).

$$P_{wind} = \frac{1}{2} C_p \rho A v_{wind}^3 \dots\dots\dots (2-11)$$

Sumber: Badan Litbang ESDM, 2012

keterangan :

$P_{wind}$  = daya yang dibangkitkan oleh angin (watt)

$C_p$  = koefisien daya rotor

$\rho$  = kerapatan udara (kg/m<sup>3</sup>)

$A$  = luas baling-baling (m<sup>2</sup>)

$v$  = kecepatan angin (m/s)

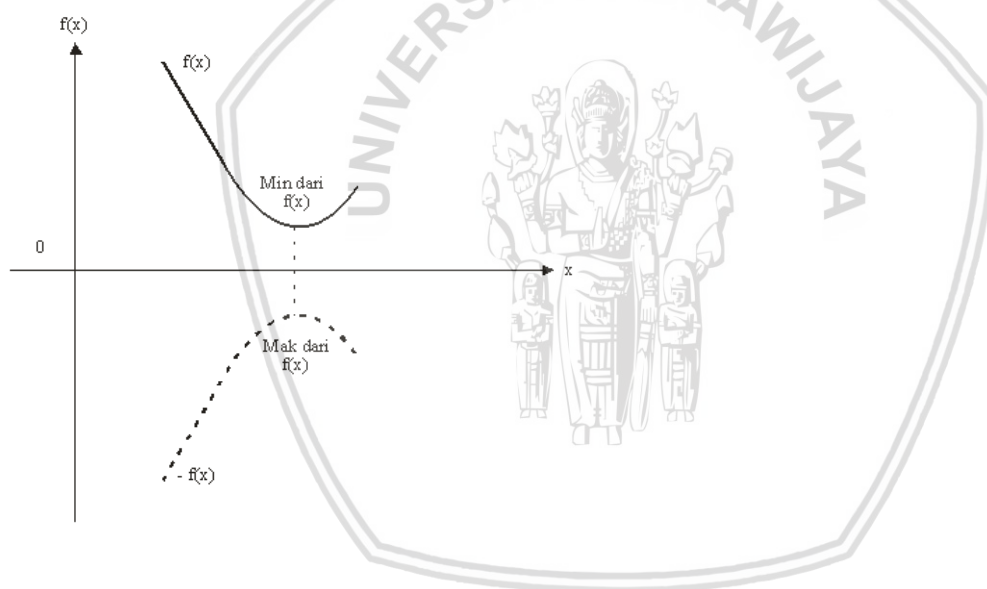
Nilai dari  $C_p$  tergantung dari perbandingan kecepatan *downstream* dan *upstream* angin. Suatu analisis menunjukkan bahwa dalam suatu desain yang praktis nilai maksimum yang dapat dicapai oleh  $C_p$  berkisar 0,4 – 0,5 untuk turbin modern berkecepatan tinggi dengan dua baling-baling. Sedangkan untuk turbin berkecepatan rendah dengan baling-baling lebih dari dua nilai  $C_p$  berkisar 0,2 – 0,4 (Patel, 2006:30).



## 2.8 Optimasi

Optimasi merupakan suatu proses untuk mencapai hasil yang ideal atau optimal (nilai efektif yang dapat dicapai) dari pilihan yang tersedia dengan tujuan untuk meminimalkan atau memaksimalkan usaha yang dilakukan. Teknik optimasi adalah suatu usaha atau kegiatan untuk mendapatkan hasil terbaik dengan persyaratan yang diberikan. Hasil yang diperoleh yaitu usaha yang minimal dan keuntungan yang maksimal. Hasil ini dapat digambarkan sebagai fungsi variabel, sedangkan optimasi didefinisikan sebagai proses untuk mendapatkan fungsi tersebut (Sumardi, 2006).

Dalam teknik optimasi, sesuatu yang dapat diukur untuk mendapatkan hasil terbaik yang diinginkan, dikenal sebagai fungsi biaya atau fungsi kriteria. Fungsi inilah yang nantinya akan diminimalkan atau dimaksimalkan.



Gambar 2.2 Grafik  $\text{Min } f(x) = -\text{Max } f(x)$

Sumber: Sumardi., 2006

Teknik optimasi yang umum dipakai adalah teknik minimalisasi karena mempunyai batas yang pasti (nol), sedangkan teknik maksimal batasnya tidak terhingga. Hal lain yang harus diperhatikan dalam teknik optimasi adalah persyaratan untuk memperoleh hasil terbaik. Bentuk umum dari persoalan optimasi dapat dinyatakan sebagai berikut:

Cari  $x = (x_1, x_2, \dots, x_n)$ , yaitu vektor berdimensi  $n$  yang akan memberikan nilai minimal suatu fungsi kriteria  $f(x)$  atas pernyataan yang akan dinyatakan dengan fungsi kendala  $g_j(x) \leq 0$  untuk  $j = 1, 2, \dots, m$  dan  $l_j(x) = 0$ , untuk  $j = 1, 2, \dots, j$ .

keterangan :

- Vektor  $x$  berdimensi  $n$  dikenal dengan nama desain variabel, yaitu variabel yang harus diperhatikan dalam memperoleh hasil minimal atau maksimal.
- $f(x)$  adalah fungsi objektif
- $g_j(x)$  adalah batasan ketidaksamaan (*inequality constrain*)
- $l_j(x)$  adalah batasan persamaan (*equality constrain*)

## 2.9 Ant Colony Optimization

*Ant Colony Optimization* atau biasa disebut optimasi koloni semut pertama kali diperkenalkan pada tahun 1988 oleh Moyson dan Mendrik, lalu pada tahun 1992 dikembangkan secara luas oleh Marco Dorigo. Metode ini terinspirasi dari tingkah laku semut dengan kemampuan untuk menemukan jalur terpendek antara sarang menuju sumber makanan dengan meninggalkan hormon feromon pada jalur yang dilaluinya.

Saat semut pertama berjalan, semut meninggalkan hormon feromon yang dapat dicium oleh semut berikutnya, sehingga tempat yang belum dan sudah dilewati dapat diketahui oleh semut-semut berikutnya. Semut yang menempuh lintasan yang pendek akan meninggalkan feromon yang lebih tajam daripada yang menempuh lintasan yang lebih panjang. Hal ini terjadi karena feromon yang ditinggalkan dapat menguap. Semut-semut berikutnya akan memilih lintasan berdasarkan kuatnya feromon dan jarak lintasan. Semakin banyak semut yang menempuh lintasan yang sama, maka semakin kuat aroma feromon sehingga jalur terpendek akan ditemukan. Parameter-parameter yang terdapat pada ACO yaitu *iterasi maksimum*, *jumlah semut*, *alpha*, dan *rho* (Bayu, 2017).

Algoritma ACO telah banyak digunakan untuk menyelesaikan permasalahan optimasi kombinatorial. Tahapan algoritma ACO yaitu sebagai berikut:

1. Asumsikan jumlah semut sebanyak  $N$  dan tentukan sejumlah semut diskret sebanyak  $p$  yang akan digunakan untuk mencari nilai variabel. Nilai ini dinyatakan sebagai  $x_i = x_{i1}, x_{i2}, \dots, x_{in}$  ( $i = 1, 2, \dots, n$ ) dimana  $n$  adalah banyaknya variabel. Tentukan jumlah feromon awal  $\tau_{ij}^1$  yang sama untuk semua ruas yang ada.
2. Hitung probabilitas ( $p_{ij}$ ) untuk memilih ruas atau nilai deskret  $x_{ij}$  menggunakan:

$$p_{i,j} = \frac{\tau_{i,j}^\alpha}{\sum_{j \in N_i^{(k)}} \tau_{i,j}}$$

$i$  merupakan inisialisasi jumlah semut sebanyak nilai variabel  $n$ , dan  $j$  merupakan inisialisasi jumlah semut diskret sebanyak  $p$ .

3. a. Bangkitkan  $N$  bilangan random  $r_1, r_2, \dots, r_N$ , dalam range  $(0,1)$  satu untuk setiap semut. Kemudian menggunakan proses *roulete-wheel selection* untuk memilih area dimana bilangan random yang telah dibangkitkan yang berada dalam proses *roulete-wheel selection*.
- b. Nilai fungsi tujuan yang berhubungan dengan lintasan yang dipilih oleh semut yang berbeda.
- c. Evaluasi nilai fungsi tujuan yang ingin dicapai yaitu nilai yang minimum.
- d. Uji konvergensi dari proses. Jika belum konvergen, koloni semut akan kembali ke sarang dan memulai pencarian makanan lagi. Set iterasi  $t=t+1$ , dan pembaharuan feromon untuk setiap ruas dengan:

$$\tau_{ij}^{(t)} = (1 - \rho)\tau_{ij}^{(t-1)} + \sum_k \Delta \tau^k$$

- e. Dimana  $\tau_{ij}^{(old)}$  menyatakan feromon dari iterasi sebelumnya yang tertinggal setelah penguapan. Tingkat penguapan atau faktor feromon ( $\rho$ ) ditentukan nilainya antara 0 sampai 1

$$\tau_{ij}^{(old)} = (1 - \rho)\tau_{ij}^{(t-1)}$$

## 2.10 Simulated Annealing Method

*Simulated Annealing* (SA) muncul pada tahun 1953 pada makalah yang telah dipublikasikan oleh Metropolis. Metode algoritma ini meniru perilaku baja yang mengalami proses pendinginan baja. Teknik ini meniru perilaku baja yang mengalami pemanasan sampai suhu tertentu kemudian didinginkan secara perlahan. SA bekerja berdasar pada analogi dari proses pendinginan dan pembekuan logam menggunakan energi minimum yang disebut proses *annealing* (Örkcü, 2013). Parameter-parameter yang terdapat pada SA yaitu *final stop temperature*, *min value of function*, *max number of rejection*, *max number of runs*, *max number of accept*, *Boltzmann constant*, *cooling factor* dan *enorm* (Dhanara, 2017). Kelebihan dari SA yaitu waktu komputasi dari algoritma ini lebih cepat dibandingkan dengan algoritma optimasi lainnya, serta membutuhkan memori yang sedikit.

Tahapan pada *Simulated Annealing* yaitu sebagai berikut (Bayram & Sahin, 2013):

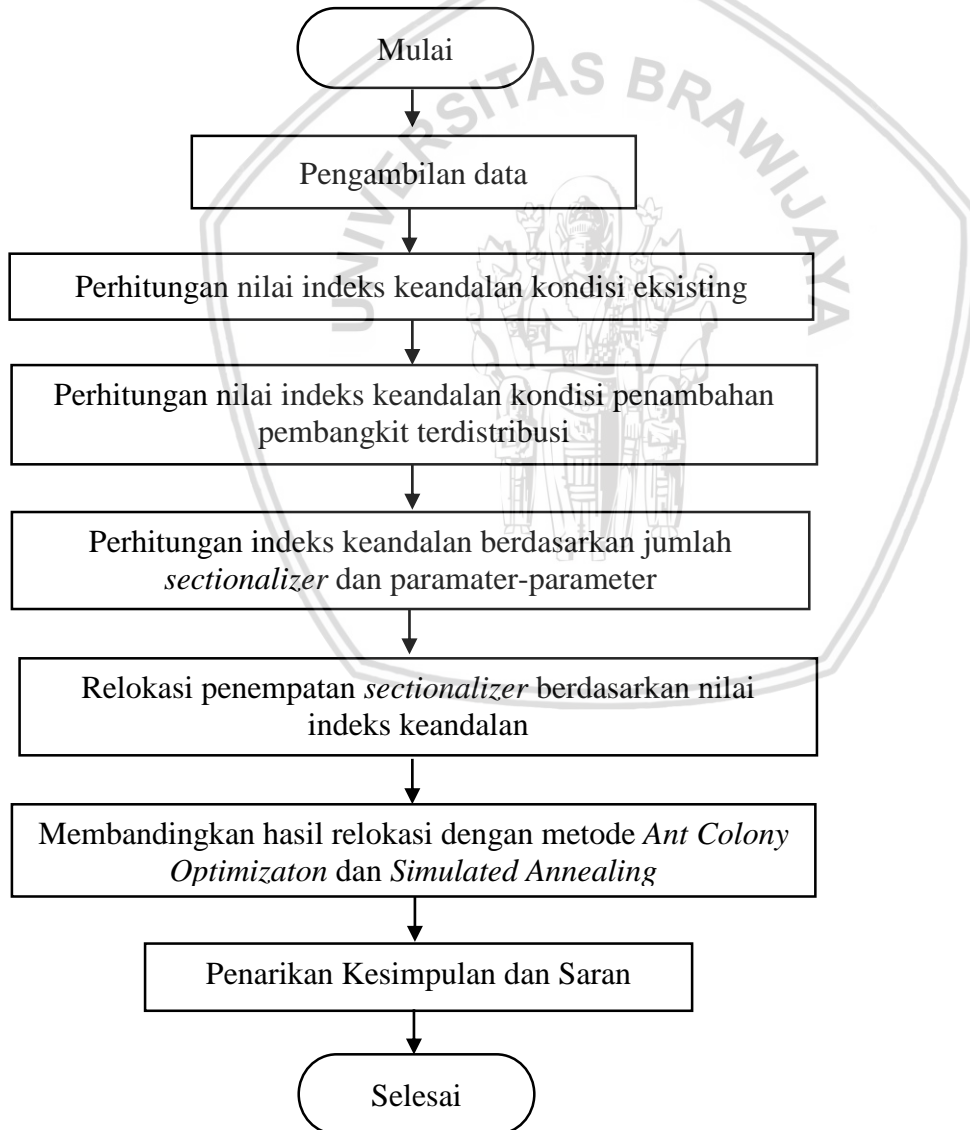
1. Membangkitkan solusi awal ( $S$ ), suhu awal  $T_0$ , suhu akhir  $T_t$ , iterasi maksimum, laju penurunan suhu  $\alpha$  (biasanya bernilai 0.9 atau 0.95), energi awal  $E$ , solusi terbaik  $S_{best} = S$ , dan energi terbaik  $E_{best} = E$ .
2. Membangkitkan solusi tetangga ( $S_n$ ) dan menghitung energi  $E_n$ .
3. Apabila nilai  $E_n < E$ , menuju langkah 7. Apabila tidak, maka menuju langkah 4.
4. Menghitung perubahan energi  $\Delta E = E_n - E$ .
5. Membangkitkan nilai acak *uniform*  $u$  antara 0 hingga 1.
6. Apabila nilai  $u < e^{\left(\frac{-\Delta E}{T}\right)}$ , menuju ke langkah 7. Apabila tidak, menuju langkah 10.
7. Menerima solusi  $S_n$  sebagai  $S$  dan energi  $E_n$  sebagai  $E$ .
8. Apabila nilai  $E_n < E_{best}$ , menuju langkah 9. Apabila tidak, menuju langkah 10.
9. Menerima solusi baru sebagai solusi terbaik,  $S_{best} = S_n$  dan  $E_{best} = E_n$ .
10. Apabila jumlah iterasi maksimum untuk suhu saat ini tercapai, menuju langkah 11. Apabila tidak, menuju langkah 2.
11. Mengurangi suhu  $T = T_0 \times \alpha$  dimana  $\alpha$  adalah laju penurunan suhu.
12. Apabila suhu minimal sudah tercapai, menuju langkah 13. Apabila tidak, menuju langkah 2.
13. Proses selesai, solusi ditemukan.

### BAB III METODE PENELITIAN

Dalam skripsi ini dilakukan analisis perbandingan relokasi *sectionalizer* pada penyulang Pujon yaitu melakukan tahapan dengan mengolah beberapa data dan membandingkannya.

#### 3.1 Diagram Alir Penelitian

Langkah-langkah yang digunakan dalam penelitian ini ditunjukkan pada Gambar 3.1 berupa diagram alir.



Gambar 3.1 Diagram Alir Penelitian



### 3.2 Pengambilan Data

Data-data yang digunakan adalah data yang sebagian didapatkan dari PT. PLN (Persero) dan data sekunder yang berasal dari buku referensi, jurnal, dan penelitian sebelumnya yang relevan dengan pembahasan skripsi ini. Data tersebut meliputi:

1. *Single line* diagram GI Sengkaling penyulang Pujon
2. Data-data panjang setiap saluran penyulang Pujon
3. Pelanggan tiap titik beban penyulang Pujon
4. Kapasitas transformator daya di GI Sengkaling
5. Data pembebanan transformator daya
6. Peralatan sistem proteksi (*sectionalizer*)
7. Spesifikasi pembangkit terdistribusi
8. Daya pembangkit terdistribusi

### 3.3 Perhitungan Nilai Indeks Keandalan Kondisi Eksisting

Setelah data-data yang diperlukan sudah lengkap, dilakukan perhitungan indeks keandalan sistem distribusi penyulang Pujon. Proses perhitungan mengikuti langkah-langkah:

1. Menghitung frekuensi gangguan dan durasi gangguan pada tiap titik beban menggunakan Persamaan (2-2) dan Persamaan (2-4) untuk mendapatkan nilai SAIFI dan SAIDI tiap titik beban (bus).
2. Menghitung SAIFI dan SAIDI keseluruhan sistem penyulang Pujon dengan menjumlahkan seluruh nilai indeks keandalan pada tiap titik beban (bus) menggunakan *software* Matlab R2015a.
3. Menghitung nilai indeks keandalan CAIDI keseluruhan sistem menggunakan Persamaan (2-9).
4. Melakukan evaluasi terhadap nilai yang didapatkan.

### 3.4 Perhitungan Indeks Keandalan dengan Penambahan Pembangkit Terdistribusi

Pada tahap ini dilakukan perhitungan indeks keandalan kondisi terhubung pembangkit terdistribusi. Proses perhitungan mengikuti langkah-langkah seperti perhitungan pada kondisi eksisting, namun dibuat dalam tiga skenario yaitu grid – *wind turbine*, grid – mikrohidro, dan grid – *wind turbine* – mikrohidro. Letak *sectionalizer* tetap seperti pada kondisi eksisting dengan jumlah 8 *sectionalizer*.

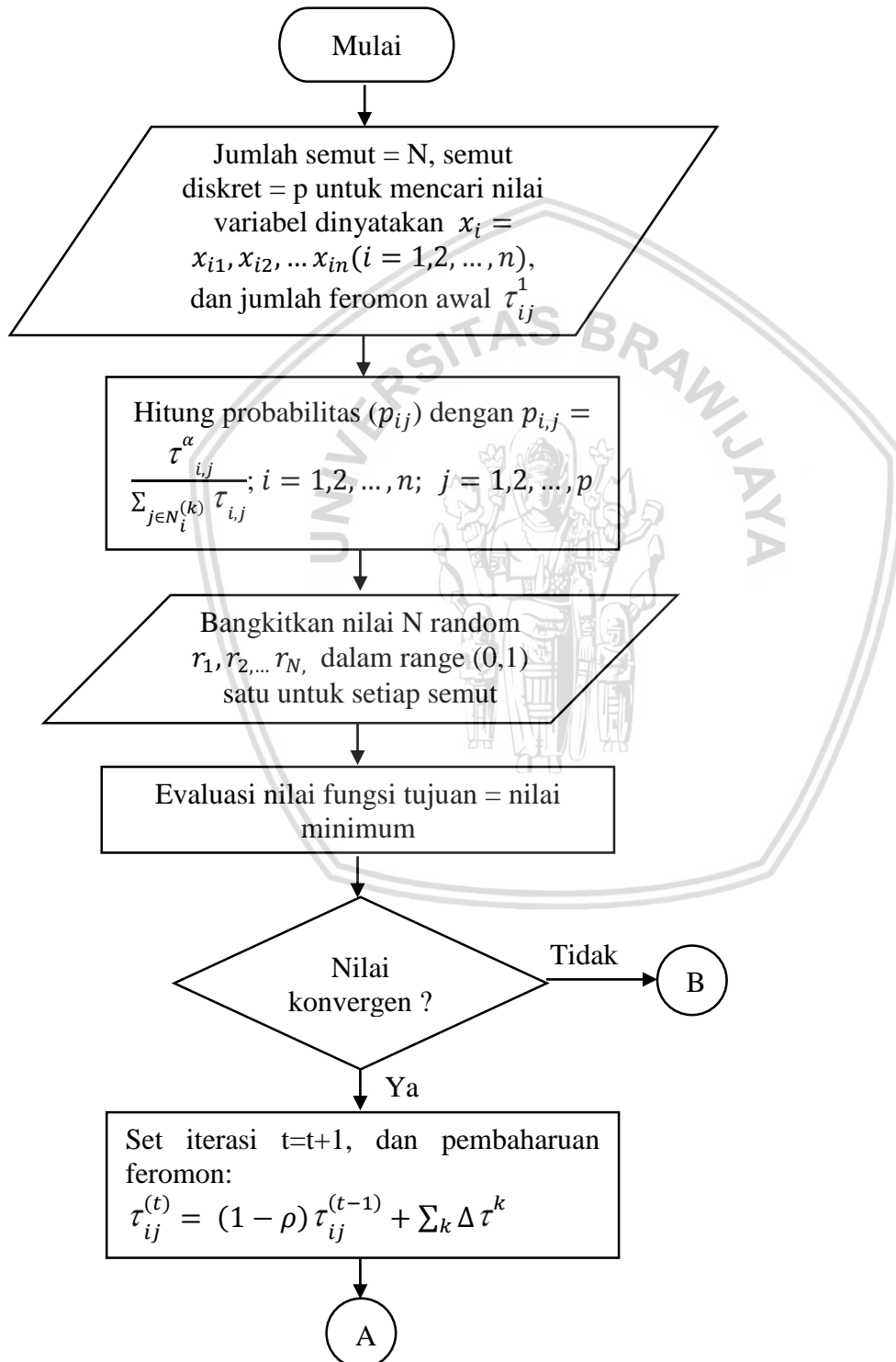


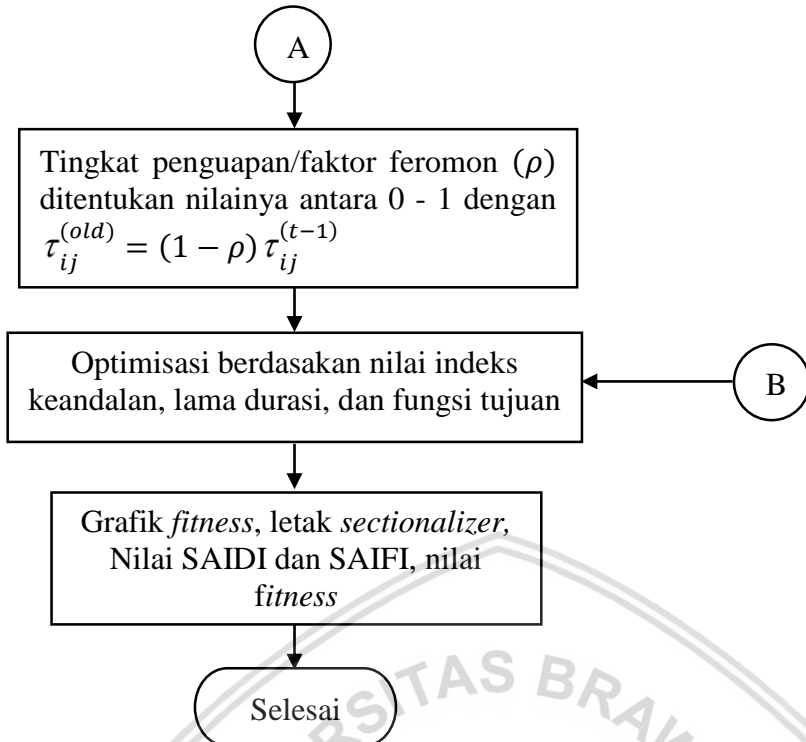
### 3.5 Relokasi Penempatan *Sectionalizer* dengan Penambahan Pembangkit Terdistribusi

Pada tahap ini dilakukan percobaan relokasi penempatan *sectionalizer* dengan jumlah yang berbeda serta membandingkan salah satu parameter untuk setiap metode.

#### 2.5.1 Menggunakan *Ant Colony Optimization*

Diagram alir proses optimasi relokasi dengan ACO ditunjukkan pada Gambar 3.2.

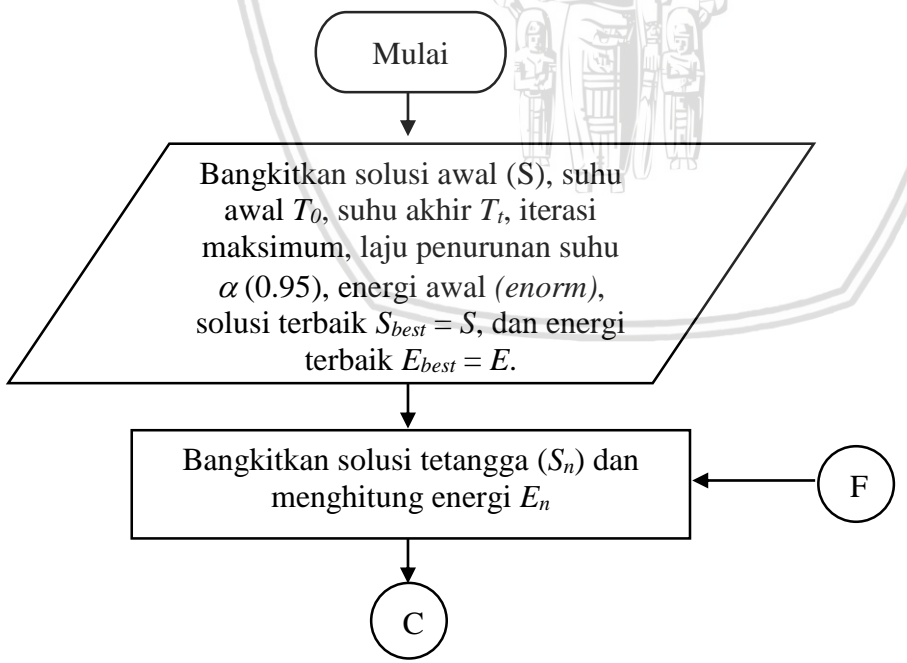


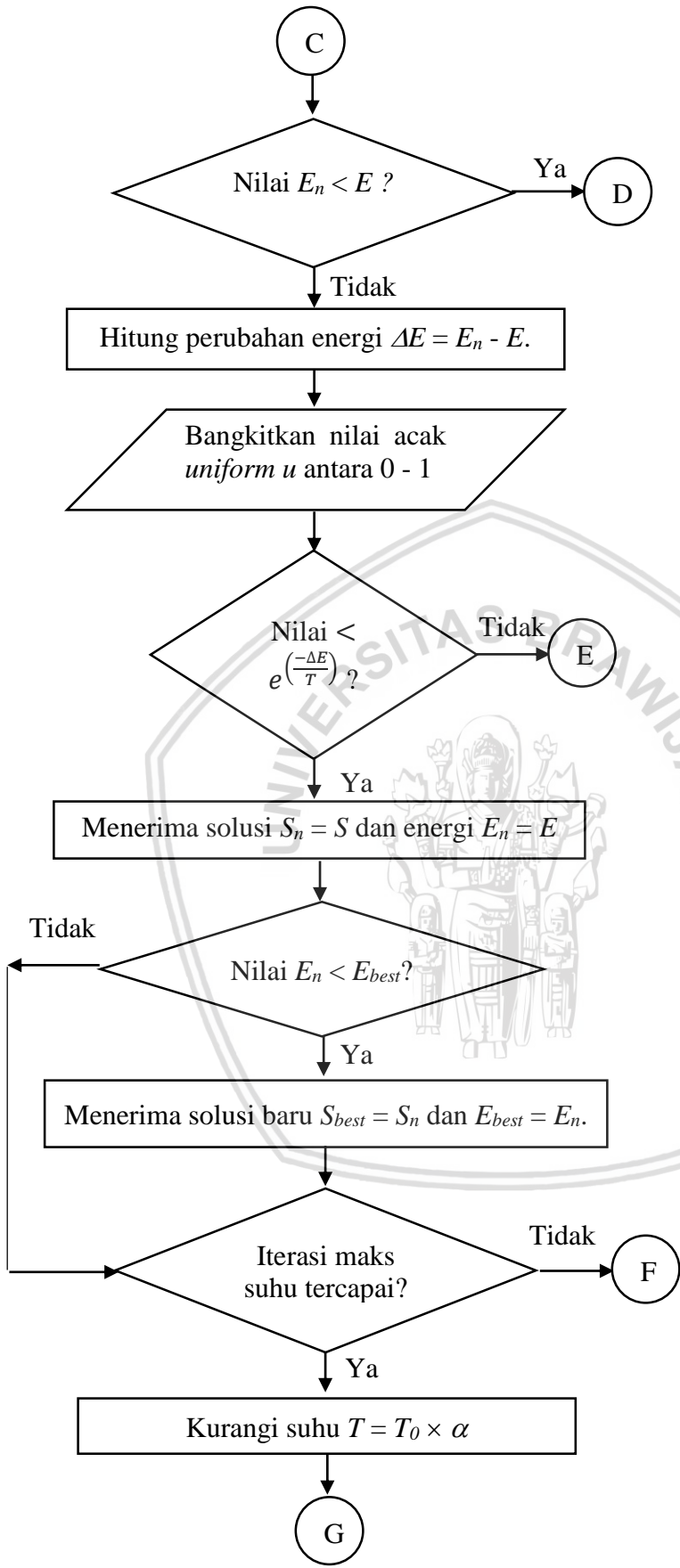


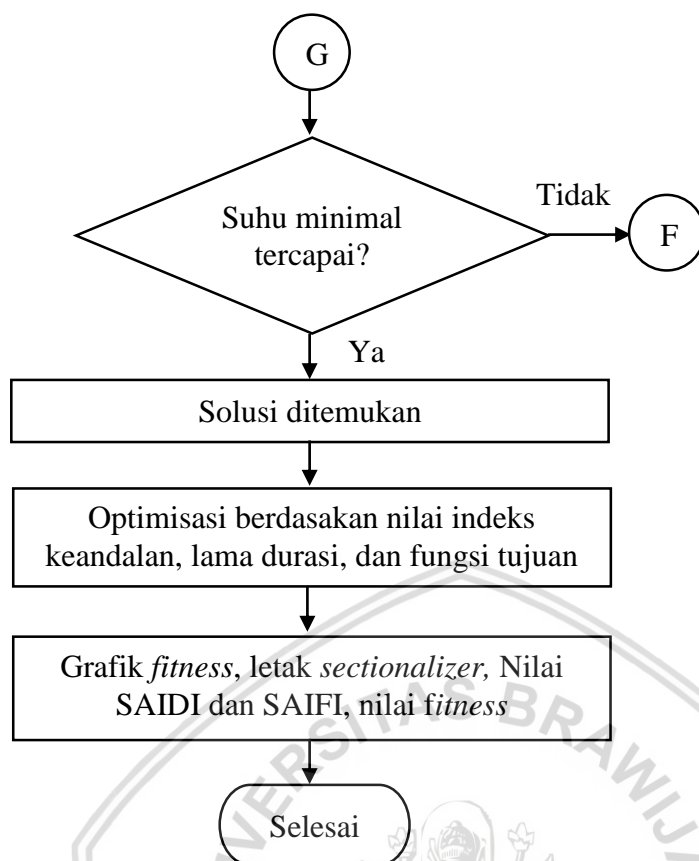
Gambar 3.2 Diagram Alir Ant Colony Optimization

2.5.2 Menggunakan Simulated Annealing Method

Diagram alir proses optimasi relokasi dengan SA ditunjukkan pada Gambar 3.3







Gambar 3.3 Diagram Alir *Simulated Annealing Method*

### 2.5.3 Membandingkan Hasil dari *Ant Colony Optimization* dan *Simulated Annealing Method*

Proses optimasi dilakukan dengan mendeklarasikan nilai indeks frekuensi kegagalan dan durasi gangguan yang seperti Persamaan (3-1) dan Persamaan (3-2).

$$f_{(i)} = S_{(i)} = (\lambda_{(SUTM)} \times \text{panjang saluran}_{(i)} + \lambda_{(Trafo)} + S_{(1-n)})$$

$$U_{(i)} = (\lambda_{(SUTM)} \times \text{panjang saluran}_{(i)} \times r_{(SUTM)} + \lambda_{(Trafo)} \times r_{(Trafo)} + U_{(1-n)})$$

Setelah didapatkan hasil indeks keandalan dan letak relokasi *sectionalizer* dengan masing-masing metode, selanjutnya dilakukan analisis perbandingan untuk menentukan solusi yang paling mendekati optimum dengan dilakukan sepuluh kali percobaan untuk masing-masing metode dengan variasi parameter terbaik.

### 3.6 Penarikan Kesimpulan dan Saran

Dari analisis dan pembahasan ditarik suatu kesimpulan yang merupakan intisari dari penulisan skripsi ini dan disertakan pula saran dari penulis untuk mengembangkan penelitian ke depan yang terkait dengan permasalahan ini dan menemukan solusi untuk permasalahan ini.



## BAB IV

### HASIL DAN PEMBAHASAN

#### 4.1 Penyulang Pujon Gardu Induk Sengkaling

Objek pada penelitian ini yaitu penyulang Pujon yang disuplai daya energi listrik dari gardu induk Sengkaling. Gardu Induk Sengkaling merupakan salah satu gardu induk yang dikelola dibawah wewenang PT. PLN APP Malang yang bekerja dibawah wewenang PT. PLN P3B untuk Region Jawa Timur dan Bali (dibawah PT. PLN PP3B pusat). Gardu induk ini beroperasi pada tegangan sisi terima 150 kV yang dipasok dari Gardu Induk Kebonagung. Penyulang Pujon beroperasi pada tegangan menengah 20 kV.

Adapun spesifikasi penyulang Pujon ditunjukkan seperti pada Tabel 4.1.

Tabel 4.1  
Spesifikasi Penyulang Pujon

<b>Spesifikasi Penyulang</b>	
Panjang total saluran TM (kms)	49,761
Jumlah tiang TM	1278
Jumlah <i>sectionalizer</i>	8
Jumlah transformator distribusi :	
250 kVA	5
200 kVA	8
160 kVA	20
150 kVA	4
100 kVA	26
75 kVA	1
50 kVA	8
25 kVA	3
Jumlah total	75
Jumlah transformator distribusi	70

Sumber: PT. PLN (Persero) APJ Malang, 2017

Penyulang pujon mendapatkan suplai daya dari transformator 3 pada gardu induk Sengkaling. Transformator 3 sendiri selain menyuplai penyulang Pujon juga menyuplai penyulang Junrejo, Karang Ploso dan Wastra Indah. Berikut disajikan Tabel 4.2 yang berisi data spesifikasi dari transformator 3 penyulang Pujon pada gardu induk Sengkaling.



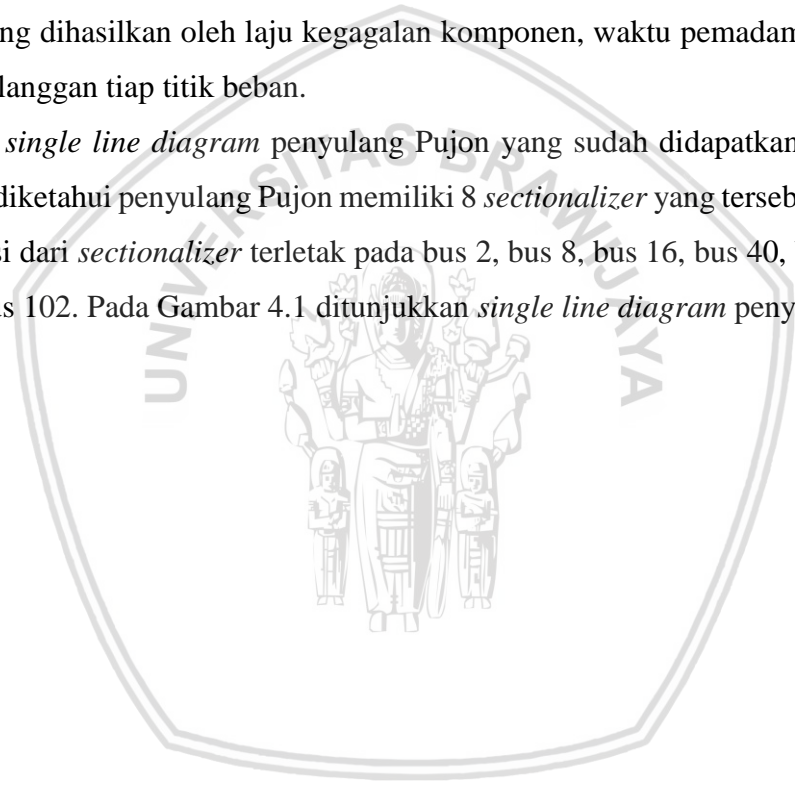
Tabel 4.2  
Transformator 3 Penyulang Pujon Gardu Induk Sengkaling

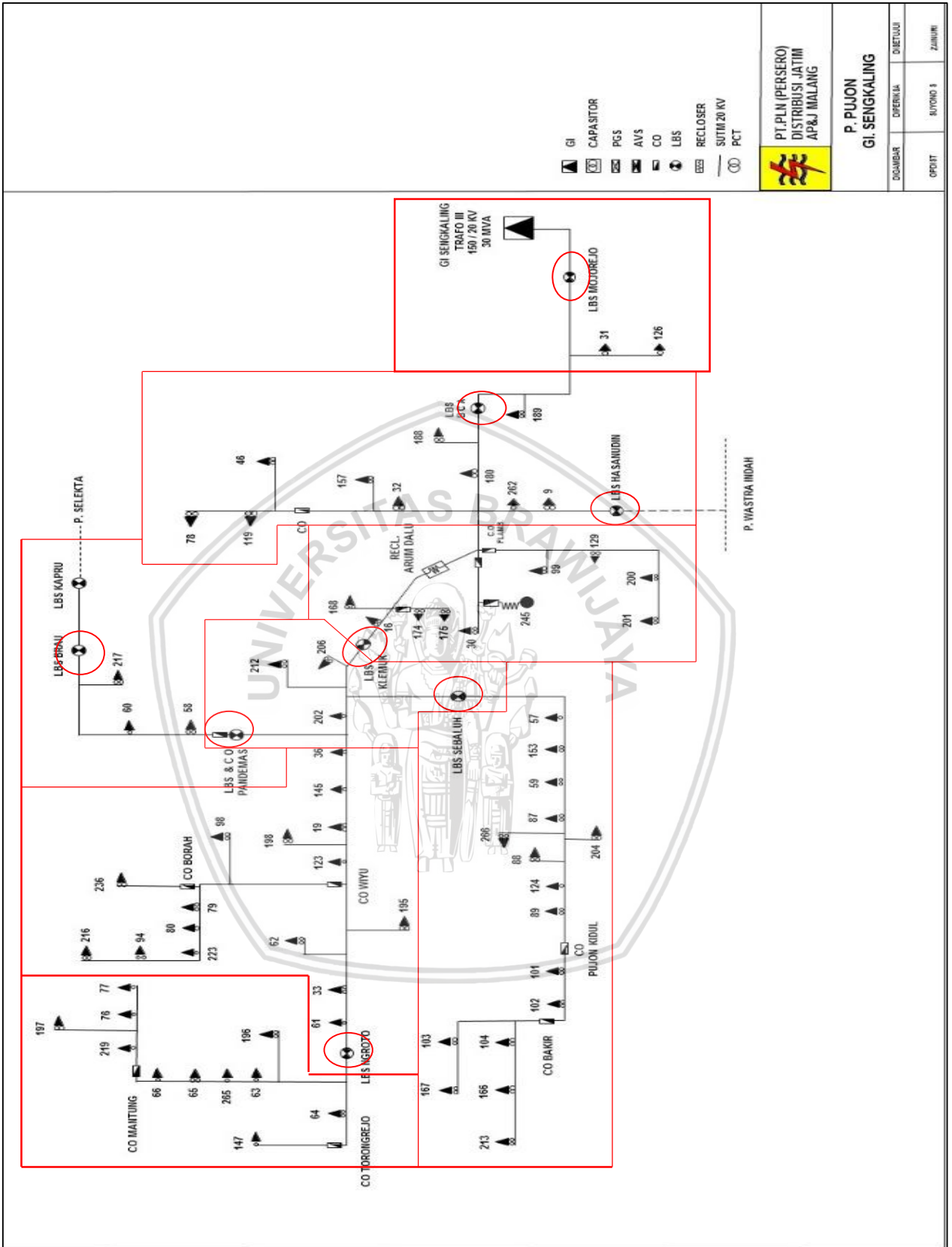
Transformator	
Merk	UNINDO
No. Trafo	3
Teg. Primer (kV)	150 kV
Teg. Sekunder (kV)	20 kV
Daya (MVA)	30 MVA

Sumber: PT. PLN (Persero) APJ Malang, 2017

Pengujian pada sistem ini bertujuan untuk mengetahui apakah sistem yang dibuat dalam program sudah berjalan sesuai dengan yang diinginkan atau belum. Keberhasilan program diukur melalui kemampuan untuk menganalisis posisi *sectionalizer* yang paling optimal sehingga diperoleh nilai keandalan sistem yang optimum berdasarkan nilai SAIFI, SAIDI, dan CAIDI yang dihasilkan oleh laju kegagalan komponen, waktu pemadaman komponen, dan jumlah pelanggan tiap titik beban.

Dari data *single line diagram* penyulang Pujon yang sudah didapatkan dari PT. PLN APP Malang, diketahui penyulang Pujon memiliki 8 *sectionalizer* yang tersebar di sepanjang saluran. Lokasi dari *sectionalizer* terletak pada bus 2, bus 8, bus 16, bus 40, bus 45, bus 69, bus 72, dan bus 102. Pada Gambar 4.1 ditunjukkan *single line diagram* penyulang Pujon.





PT. PLN (PERSERO)  
DISTRIBUSI JATIM  
AP&J MALANG

P. PUJON  
GI. SENGKALING

DISAMBAH	DPERIKSA	DIMETUAI
OPDIS	SUTOMO 3	ZAMUNI

Gambar 4.1 Single Line Diagram Penyulang Pujon  
Sumber : PT. PLN (Persero) APP Malang, 2017

Sebelum dilakukan perhitungan terlebih dahulu perlu diketahui nilai laju kegagalan, waktu pemadaman dan pemindahan masing peralatan distribusi. Data laju kegagalan, waktu pemadaman dan pemindahan peralatan distribusi yang mengacu pada SPLN No.59 (1985) tentang keandalan sistem distribusi 6 kV dan 20 kV yang berlaku secara umum di seluruh Indonesia ditunjukkan pada Tabel 4.3.

Tabel 4.3  
Data Laju Kegagalan, Waktu Pemadaman dan Pemindahan Peralatan Distribusi

No.	Komponen	Laju Kegagalan	Waktu Pemadaman	Waktu Pemindahan
1.	Saluran udara	0,2/km/tahun	3	0,15
2.	Kabel saluran bawah tanah	0,07/km/tahun	15	0,15
3.	Pemutus tenaga	0,004/unit/tahun	10	0,15
4.	Sakelar beban	0,003/unit/tahun	10	5
5.	Sakelar pisah/ <i>sectionalizer</i>	0,003/unit/tahun	10	0,15
6.	Penyambung kabel	0,001/unit/tahun	15	0,15
7.	Trafo distribusi	0,005/unit/tahun	10	0,15
8.	Pelindung jaringan	0,005/unit/tahun	10	0,15
9.	Rel tegangan rendah	0,001/unit/tahun	10	0,15
10.	Penutup balik/ <i>recloser</i>	0,005/unit/tahun	10	0,15

Sumber: SPLN No. 59 (1985)

Titik beban, jumlah pelanggan, daftar saluran, panjang saluran setiap masing-masing daerah bagian dianalisis untuk memodelkan mode kegagalan berupa gangguan yang terjadi pada masing-masing peralatan setiap daerah bagian. Setelah itu menghitung frekuensi gangguan dan durasi gangguan masing-masing titik beban berdasarkan SPLN No.59 (1985). Selanjutnya indeks keandalan berupa SAIDI dan SAIFI setiap peralatan dihitung menggunakan Persamaan (2.2) dan Persamaan (2.4).

$$SAIFI = \frac{\sum N_{TB} \times \lambda_{TB}}{\sum N} \dots\dots\dots (2.2)$$

$$SAIDI = \frac{\sum N_{TB} \times U_{TB}}{\sum N} = \frac{\sum \lambda_i \times r_j}{\sum N} \dots\dots\dots (2.4)$$

Kemudian nilai CAIDI dapat dicari setelah nilai SAIDI dan SAIFI total didapatkan. Nilai CAIDI dihitung menggunakan Persamaan (2.5).

$$CAIDI = \frac{\text{total durasi gangguan pelanggan}}{\text{total pelanggan terganggu}} = \frac{SAIDI}{SAIFI} \dots\dots\dots (2.5)$$

**4.2 Pembangkit Terdistribusi**

Pembangkit terdistribusi yang ditambahkan dan dihubungkan pada penyulang Pujon yaitu pembangkit terdistribusi jenis *wind turbine* dan mikrohidro.

#### 4.2.1 Pembangkit Listrik Tenaga Angin (*Wind Turbine*)

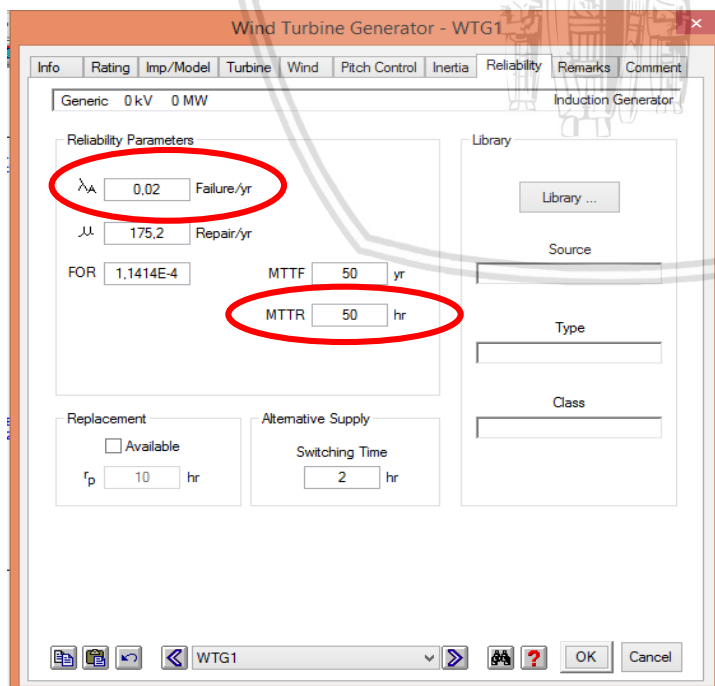
Pada penelitian ini menggunakan analisis penelitian sebelumnya yang dilakukan oleh mahasiswa Teknik Elektro Universitas Brawijaya. Pada penelitian sebelumnya telah didapat data kecepatan angin rata-rata setiap hari dalam kurun waktu 90 hari dan besar daya yang dapat dibangkitkan oleh angin. Generator yang digunakan pada *wind turbine* yaitu generator asinkron merk *Suzlon* dengan faktor daya sebesar 0.9 - 0,95. Pembangkit dihubungkan dengan penyulang Pujon pada bus 117. Pada Tabel 4.4 disajikan data yang berisi spesifikasi dan hasil perhitungan pembangkit *wind turbine*.

Tabel 4.4  
Data Spesifikasi Pembangkit *Wind Turbine*

<i>Wind Turbine</i>	
Daya yang dibangkitkan angin / daya masukan generator	36.380,04 watt
Daya keluaran	34.561,04 watt
Daya semu (S)	36.380,04 VA
Daya reaktif (Q)	11.350,57 VAR
Laju Kegagalan	0,02 kali/tahun
Waktu Pemadaman	50 jam/tahun
Generator Sinkron	
Tegangan	380/220 V
Frekuensi	50 Hz

Sumber : Adiatma, 2015

Nilai yang digunakan untuk laju kegagalan dan waktu pemadaman pada pembangkit *wind turbine* mengacu pada *software* ETAP 12.6.0 yang ditunjukkan pada Gambar 4.2.



Gambar 4.2 Laju Kegagalan dan Waktu Pemadaman *Wind Turbine* pada *Software* Etap 12.6.0

#### 4.2.2 Pembangkit Listrik Tenaga Mikrohidro (PLTMH)

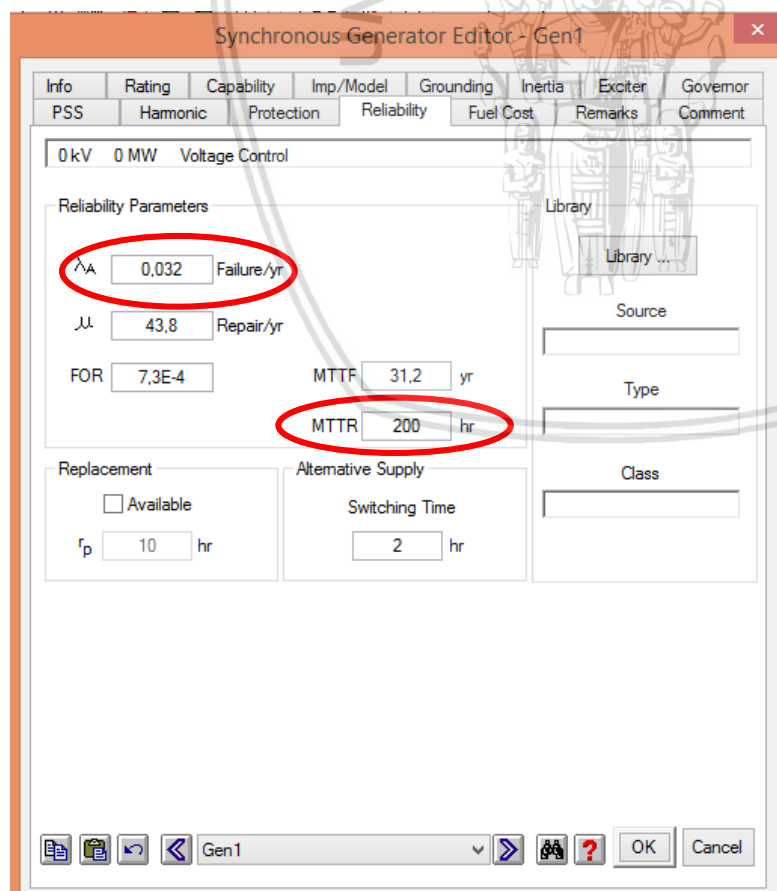
Pada penelitian ini menggunakan PLTMH yang berada di Desa Bendosari, Kecamatan Pujon, Kabupaten Malang, yang dibangun oleh Universitas Brawijaya. Pembangkit dihubungkan dengan penyulang Pujon pada bus 57. Tabel 4.5 berisi data spesifikasi pada PLTMH Bendosari.

Tabel 4.5  
Data Spesifikasi Pembangkit Mikrohidro

<i>Mikrohidro</i>	
Daya keluaran	8.700 watt
Daya semu (S)	9.666,66 VA
Daya reaktif (Q)	4.204,99 VAR
Laju Kegagalan	0,032 kali/tahun
Waktu Pemadaman	200 jam/tahun
<b>Generator Sinkron</b> (3 fasa)	
Tegangan	380/220 V
Frekuensi	50 Hz
Putaran Rotor	1500 rpm
Faktor Daya	0,85 – 0,90

Sumber: Adiatma, 2015

Nilai yang digunakan untuk laju kegagalan dan waktu pemadaman pada pembangkit mikrohidro mengacu pada *software* ETAP 12.6.0 yang ditunjukkan pada Gambar 4.3.



Gambar 4.3 Laju Kegagalan dan Waktu Pemadaman Mikrohidro pada *Software* Etap 12.6.0

#### 4.3 Perhitungan Indeks Keandalan Sistem Distribusi Penyulang Pujon Kondisi Eksisting

Perhitungan indeks keandalan pada kondisi eksisting menggunakan *software* Matlab. Perhitungan menggunakan metode *load point* dengan menghitung nilai SAIFI dan SAIDI berdasarkan laju kegagalan dan durasi gangguan tiap titik beban, kemudian dijumlahkan sehingga mendapatkan nilai SAIFI dan SAIDI total dari sistem. Contoh perhitungan nilai dari masing-masing bus menggunakan Persamaan (3-1) dan Persamaan (3-2).

$$f_{(1)} = S_{(1)} = 0,643$$

$$U_{(1)} = (0,643 \times 2)$$

$$f_{(2)} = S_{(2)} = (0,643 + 0,003 + 1,484 \times 0,2)$$

$$U_{(2)} = (0,643 + 0,003 \times 10 + 1,484 \times 0,2 \times 3)$$

$$f_{(67)} = S_{(67)} = (S_{(43)} + 0,005 + 0,194 \times 0,2)$$

$$U_{(67)} = (U_{(43)} + 0,005 \times 10 + 0,194 \times 0,2 \times 3)$$

Pada kondisi ini letak *sectionalizer* tidak berubah dan tidak ada penambahan pembangkit terdistribusi. Hasil perhitungan keandalan kondisi eksisting ditunjukkan pada Tabel 4.6.

Tabel 4.6  
Hasil Perhitungan Indeks Keandalan Kondisi Eksisting

Kondisi	SAIFI (kali/tahun)	SAIDI (jam/tahun)	CAIDI (jam/tahun)
Eksisting	7,1697	22,2411	3,1021

Dari hasil pada Tabel 4.6 diatas terlihat bahwa nilai SAIFI dan SAIDI pada penyulang Pujon tidak memenuhi standar. Standar yang digunakan yaitu SPLN 68-2:1986 dimana standar SAIFI adalah 3,2 kali/tahun, sedangkan SAIDI sebesar 21 jam/tahun. Oleh karena itu, perlu dilakukan pemasangan *sectionalizer* guna meminimalisir nilai SAIFI dan SAIDI pada penyulang Pujon.

#### 4.4 Perhitungan Indeks Keandalan Sistem Distribusi Penyulang Pujon Kondisi Penambahan Pembangkit Terdistribusi

Perhitungan indeks keandalan pada kondisi penambahan pembangkit terdistribusi ini menggunakan *software* Matlab. Perhitungan seperti pada perhitungan kondisi eksisting, namun yang membedakan adalah laju kegagalan dan waktu pemadaman sesuai pada spesifikasi pembangkit tersebut. Pada kondisi ini letak *sectionalizer* tidak berubah.



Perhitungan indeks keandalan terbagi dalam tiga kondisi yaitu grid – *wind turbine*, grid - mikrohidro, dan grid – mikrohidro – *wind turbine*. Untuk kondisi grid - *wind turbine*, pembangkit dihubungkan pada bus 117 dengan titik beban trafo 64. Sedangkan kondisi grid – mikrohidro, pembangkit dihubungkan pada bus 57 dengan titik beban trafo 32. Kemudian untuk kondisi grid – mikrohidro – *wind turbine*, pembangkit dihubungkan keduanya pada bus 117 dan bus 57. Tabel 4.7 berisi hasil perhitungan keandalan kondisi penambahan pembangkit terdistribusi.

Tabel 4.7

Hasil Perhitungan Indeks Keandalan Kondisi Penambahan Pembangkit Terdistribusi

Kondisi	SAIFI (kali/tahun)	SAIDI (jam/tahun)	CAIDI (jam/tahun)
Grid – <i>Wind Turbine</i>	7,0788	21,9508	3,0387
Grid - Mikrohidro	7,1321	22,1228	3,0389
Grid – <i>Wind Turbine</i> - Mikrohidro	7,1154	22,0657	3,031

Dari hasil perhitungan indeks keandalan menunjukkan bahwa penambahan pembangkit terdistribusi dapat meningkatkan indeks keandalan pada sistem distribusi penyulang Pujon. Hal ini ditunjukkan pada kondisi SAIFI dan SAIDI yang paling rendah yaitu skenario grid – *wind turbine* dengan SAIFI sebesar 7,0788 kali/tahun dan SAIFI sebesar 21,9508 jam/tahun. Akan tetapi, semakin banyak jumlah pembangkit terdistribusi tidak selalu memberikan pengaruh terhadap peningkatan indeks keandalan seperti yang ditunjukkan pada skenario kedua pembangkit dihubungkan. Hal ini dipengaruhi oleh nilai laju kegagalan dan waktu pemadaman yang mempengaruhi nilai frekuensi kegagalan dan durasi gangguan pada perhitungan indeks keandalan. Sedangkan untuk nilai CAIDI yang paling rendah yaitu skenario grid – *wind turbine* – mikrohidro dengan CAIDI sebesar 3,031 jam/tahun. Dari Tabel 4.7 diatas terlihat bahwa SAIFI dan SAIDI penyulang Pujon masih tidak memenuhi standar ketika terhubung dengan pembangkit terdistribusi.

#### 4.5 Perbandingan Kondisi Eksisting dengan Penambahan Pembangkit Terdistribusi

Setelah didapatkan nilai indeks keandalan pada kondisi eksisting dan kondisi penambahan pembangkit terdistribusi maka dilakukan perbandingan hasil percobaan perhitungan indeks keandalan kondisi eksisting dengan kondisi penambahan pembangkit terdistribusi untuk melihat besarnya penurunan nilai SAIFI dan SAIDI pada penyulang Pujon. Hasil perbandingan dihitung berdasarkan penurunan nilainya yang ditunjukkan pada Tabel 4.8.

Tabel 4.8  
Perbandingan Indeks Keandalan Kondisi Eksisting dengan Penambahan Pembangkit Terdistribusi

Kondisi	Penurunan		
	SAIFI (%)	SAIDI (%)	CAIDI (%)
<b>Eksisting</b>	-	-	-
<b>Grid – Wind Turbine</b>	1,26784	1,305241	2,043777
<b>Grid - Mikrohidro</b>	0,524429	0,531898	2,03733
<b>Grid – Wind Turbine – Mikrohidro</b>	0,7573	0,78863	2,291996

Pada Tabel 4.8 ditunjukkan adanya perbedaan untuk setiap kondisi. Perbedaan ini dikarenakan nilai dari frekuensi gangguan dan durasi gangguan yang mempengaruhi nilai SAIFI, SAIDI, dan CAIDI. Perbandingan dihitung menggunakan Persamaan (4-1), Persamaan (4-2), dan Persamaan (4-3).

$$\text{Penurunan SAIFI} = \frac{\text{SAIFI eksisting} - \text{SAIFI (tiap) skenario}}{\text{SAIFI eksisting}} \times 100\% \dots\dots\dots (4-1)$$

$$\text{Penurunan SAIDI} = \frac{\text{SAIDI eksisting} - \text{SAIDI (tiap) skenario}}{\text{SAIFI eksisting}} \times 100\% \dots\dots\dots (4-2)$$

$$\text{Penurunan CAIDI} = \frac{\text{CAIDI eksisting} - \text{CAIDI (tiap) skenario}}{\text{CAIDI eksisting}} \times 100\% \dots\dots\dots (4-3)$$

#### 4.6 Analisis Indeks Keandalan Sistem Distribusi Penyulang Pujon dengan *Simulated Annealing Method (SA)*

Percobaan diawali dengan menentukan parameter-parameter SA pada *setting* awal. Percobaan ini dimaksudkan untuk mendapat nilai SAIFI dan SAIDI yang minimum/terbaik, dengan nilai *fitness* yang maksimum yang menunjukkan nilai keandalan dari sistem penyulang Pujon. Parameter-parameter SA yang digunakan ditunjukkan pada Tabel 4.9.

Tabel 4.9  
Parameter Optimasi Perhitungan Menggunakan SA

Jenis Parameter	Parameter	Nilai
	<i>Final stop temperature</i>	$1e^{-20}$
	<i>Min value of function</i>	$1e^{-10}$
	<i>Max number of rejection</i>	100
<b>Simulated Annealing</b>	<i>Max number of runs</i>	300
	<i>Max number of accept</i>	10
	<i>Boltzmann constant</i>	1 ( <i>default</i> )
	<i>Cooling factor</i>	0.95

Parameter-parameter SA disetting seperti pada Tabel 4.9. Parameter ini mempengaruhi perubahan nilai indeks keandalan dan letak *sectionalizer*. Parameter *final stop temperature* merupakan suhu akhir, dimana suhu akan berhenti minimum di angka  $1e^{-20}$ . *Min value of function* merupakan nilai minimum target solusi untuk mencari pencapaian nilai fitness optimum dengan kondisi nilai SAIDI dan SAIFI minimum. *Cooling factor* merupakan laju penurunan suhu yang di *setting* 0.95 agar penurunan suhu dilakukan secara perlahan dan dihasilkan banyak langkah iterasi untuk mencapai konvergen.

#### 4.6.1 Skenario Percobaan Variasi *Enorm*

Pada percobaan dan optimasi relokasi *sectionalizer* kondisi penambahan pembangkit terdistribusi dengan *Simulated Annealing Method* dilakukan dengan dua variasi *energy norm* (*enorm*) yang merupakan besaran energi yang dibangkitkan sebesar  $1e^{-2}$  dan  $1e^{-3}$  sebanyak tiga kali untuk empat variasi jumlah *sectionalizer* yaitu sebanyak 8, 9, 12, dan 16 *sectionalizer* yang direlokasi maupun yang akan ditambahkan. Percobaan relokasi dan penambahan *sectionalizer* dilakukan dalam tiga skenario yaitu terhubung grid – *wind turbine*, grid - mikrohidro, dan grid – *wind turbine* – mikrohidro.

Percobaan kali ini bertujuan mencari nilai indeks keandalan terbaik dan nilai *fitness* terbaik dengan skenario pembangkit terdistribusi yang terhubung pada sistem. Data yang digunakan tetap menggunakan data panjang saluran dan jumlah pelanggan penyulang Pujon.

Tabel 4.10, Tabel 4.11, Tabel 4.12, dan Tabel 4.13 berikut adalah hasil percobaan kondisi grid – *wind turbine*.

Tabel 4.10  
Skenario Percobaan Kondisi Grid – *Wind Turbine* dengan 8 *Sectionalizer*

	<b>Enorm</b>	<b>Best Solution (Lokasi Bus)</b>	<b>SAIFI (kali/ tahun)</b>	<b>SAIDI (jam/ tahun)</b>	<b>CAIDI (jam/ tahun)</b>	<b>Fitness</b>
1	$1e^{-2}$	2, 3, 13, 34, 40, 81, 88, 93	4,0305	12,2496	3,039226	0,020254
2		3, 34, 42, 48, 63, 78, 92, 93	4,0304	12,2485	3,039028	0,020257
3		8, 9, 37, 40, 44, 55, 87, 118	4,0304	12,2482	3,038954	0,020257
1	$1e^{-3}$	8, 9, 30, 38, 42, 43, 47, 84, 107	4,0291	12,2346	3,036559	0,020286
2		8, 12, 28, 35, 76, 78, 97, 101, 118	4,029	12,2343	3,03656	0,020287
3		8, 12, 42, 51, 76, 79, 86, 100, 111	4,0288	12,2318	3,03609	0,020292

Pada Tabel 4.10 hasil terbaik kondisi grid – *wind turbine* dengan 8 *sectionalizer* untuk *enorm*  $1e^{-2}$  terletak pada percobaan ketiga yaitu nilai SAIFI 4,0304 kali/tahun, SAIDI 12,2482 jam/tahun, CAIDI 3,038954 jam/tahun. Sedangkan untuk *enorm*  $1e^{-3}$  terletak pada

percobaan kedua yaitu nilai SAIFI 4,029 kali/tahun, SAIDI 12,2343 jam/tahun, CAIDI 3,03656 jam/tahun.

Tabel 4.11  
Skenario Percobaan Kondisi Grid – *Wind Turbine* dengan 9 *Sectionalizer*

	Enorm	Best Solution (Lokasi Bus)	SAIFI (kali/ tahun)	SAIDI (jam/ tahun)	CAIDI (jam/ tahun)	Fitness
1	$1e^{-2}$	8, 9, 30, 38, 42, 43, 47, 84, 107	4,0291	12,2346	3,036559	0,020286
2		8, 12, 28, 35, 76, 78, 97, 101, 118	4,029	12,2343	3,03656	0,020287
3		8, 12, 42, 51, 76, 79, 86, 100, 111	4,0288	12,2318	3,03609	0,020292
1	$1e^{-3}$	18, 33, 35, 40, 58, 82, 85, 101, 104	4,0306	12,2497	3,039175	0,020254
2		9, 49, 68, 82, 94, 98, 108, 118, 118	4,0323	12,2669	3,04216	0,020217
3		10, 34, 35, 40, 43, 60, 73, 76, 77	4,0288	12,2325	3,036264	0,020291

Pada Tabel 4.11 hasil terbaik kondisi grid – *wind turbine* dengan 9 *sectionalizer* untuk *enorm*  $1e^{-2}$  terletak pada percobaan ketiga yaitu nilai SAIFI 4,0288 kali/tahun, SAIDI 12,2318 jam/tahun, CAIDI 3,03609 jam/tahun. Sedangkan untuk *enorm*  $1e^{-3}$  terletak pada percobaan ketiga yaitu nilai SAIFI 4,0288 kali/tahun, SAIDI 12,2325 jam/tahun, CAIDI 3,036264 jam/tahun.

Tabel 4.12  
Skenario Percobaan Kondisi Grid – *Wind Turbine* dengan 12 *Sectionalizer*

	Enorm	Best Solution (Lokasi Bus)	SAIFI (kali/ tahun)	SAIDI (jam/ tahun)	CAIDI (jam/ tahun)	Fitness
1	$1e^{-2}$	5, 18, 21, 33, 35, 38, 40, 43, 60, 64, 76, 101	4,0293	12,2366	3,036905	0,020282
2		2, 3, 7, 8, 9, 10, 20, 21, 35, 46, 87, 111	4,0285	12,229	3,035621	0,020299
3		12, 20, 34, 41, 66, 81, 82, 84, 87, 89, 100, 118	4,0293	12,237	3,037004	0,020281
1	$1e^{-3}$	12, 25, 34, 64, 68, 74, 76, 85, 87, 98, 103, 118	4,0303	12,2475	3,038856	0,020259
2		34, 35, 42, 43, 45, 58, 63, 86, 97, 97, 104, 106	4,0289	12,2326	3,036213	0,020291
3		2, 3, 8, 33, 39, 40, 69, 79, 80, 88, 92, 112	4,0278	12,2222	3,03446	0,020313

Pada Tabel 4.12 hasil terbaik kondisi grid – *wind turbine* dengan 12 *sectionalizer* untuk *enorm*  $1e^{-2}$  terletak pada percobaan kedua yaitu nilai SAIFI 4,0285 kali/tahun, SAIDI 12,229 jam/tahun, CAIDI 3,035621 jam/tahun. Sedangkan untuk *enorm*  $1e^{-3}$  terletak pada

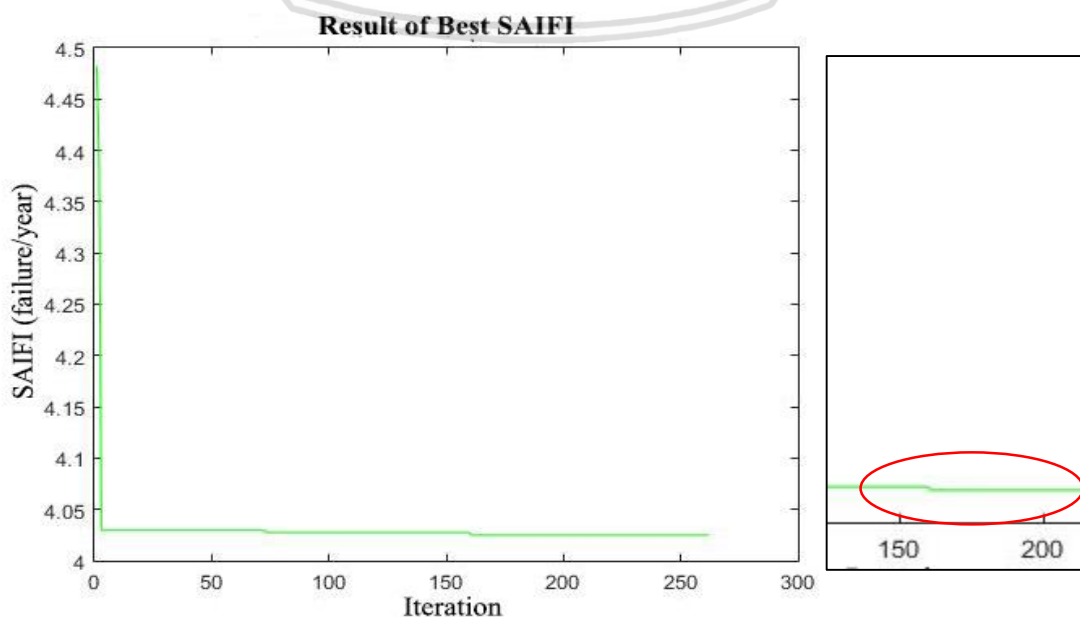
percobaan ketiga yaitu nilai SAIFI 4,0278 kali/tahun, SAIDI 12,2222 jam/tahun, CAIDI 3,03446 jam/tahun.

Tabel 4.13  
Skenario Percobaan Kondisi Grid – Wind Turbine dengan 16 Sectionalizer

	Enorm	Best Solution (Lokasi Bus)	SAIFI (kali/ tahun)	SAIDI (jam/ tahun)	CAIDI (jam/ tahun)	Fitness
1	$1e^{-2}$	3, 12, 20, 27, 28, 29, 33, 34, 52, 64, 66, 78, 79, 106, 108, 109	4,0275	12,219	3,033892	0,02032
2		2, 7, 21, 40, 42, 43, 45, 48, 52, 77, 80, 93, 96, 99, 117, 118	4,0271	12,2148	3,03315	0,020329
3		2, 9, 13, 14, 21, 41, 42, 33, 35, 55, 66 74, 77, 83, 108, 118	4,0264	12,2085	3,032113	0,020343
1	$1e^{-3}$	7, 8, 9, 13, 25, 33, 34, 34, 35, 37, 53, 61, 81, 82, 100, 104	4,0253	12,1975	3,030209	0,020367
2		3, 12, 15, 35, 37, 41, 45, 46, 47, 50, 51, 72, 80, 94, 112, 115	4,0271	12,215	3,0332	0,020329
3		8, 16, 18, 20, 25, 34, 35, 41, 43, 49, 51, 68, 74, 76, 77, 89,	4,025	12,1941	3,02959	0,020374

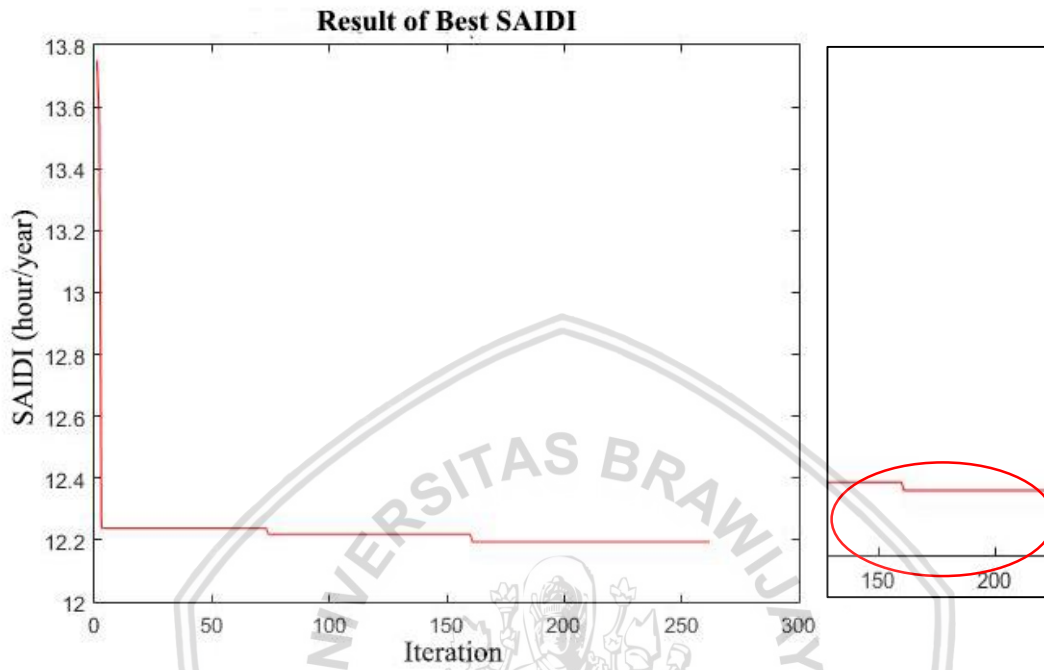
Pada Tabel 4.13 hasil terbaik kondisi grid – wind turbine dengan 16 sectionalizer untuk enorm  $1e^{-2}$  terletak pada percobaan ketiga yaitu nilai SAIFI 4,0264 kali/tahun, SAIDI 12,2085 jam/tahun, CAIDI 3,032113 jam/tahun. Sedangkan untuk enorm  $1e^{-3}$  terletak pada percobaan ketiga yaitu nilai SAIFI 4,025 kali/tahun, SAIDI 12,1941 jam/tahun, CAIDI 3,02959 jam/tahun.

Pada Gambar 4.4, Gambar 4.5 dan Gambar 4.6 berikut ditunjukkan grafik untuk kondisi dengan 16 sectionalizer yang memberikan nilai indeks keandalan terbaik pada kondisi grid – wind turbine.

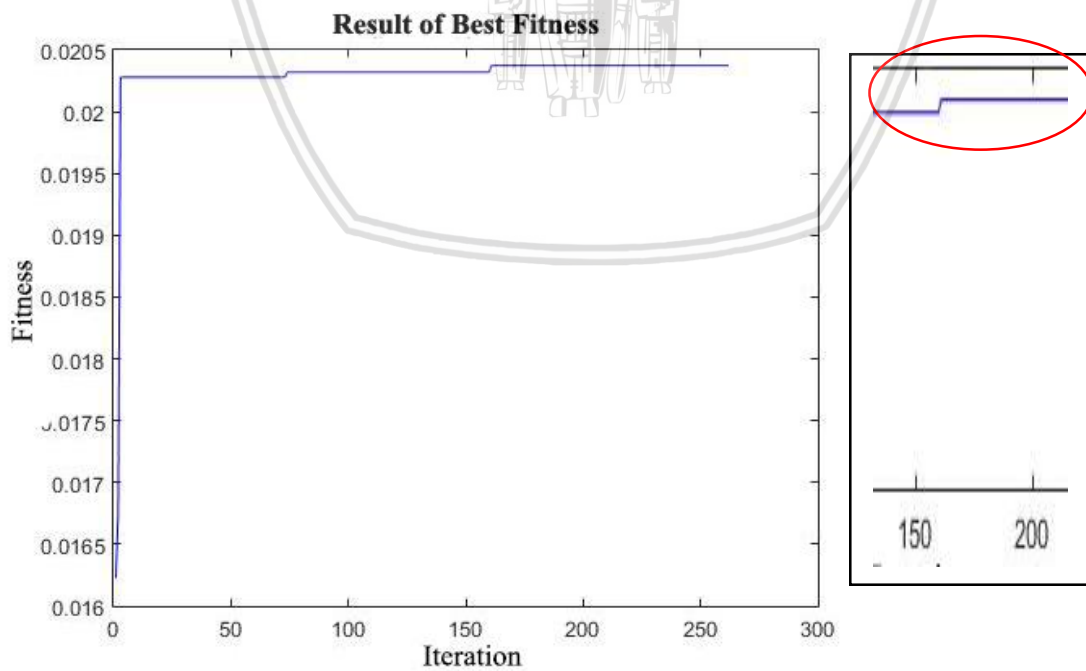




Gambar 4.4 Hasil Best SAIFI Kondisi Grid – Wind Turbine – Mikrohidro dengan  $Enorm$   $1e^{-3}$



Gambar 4.5 Hasil Best SAIFI Kondisi Grid – Wind Turbine – Mikrohidro dengan  $Enorm$   $1e^{-3}$



Gambar 4.6 Hasil Best Fitness Kondisi Grid – Wind Turbine – Mikrohidro dengan  $Enorm$   $1e^{-3}$



Pada Gambar 4.4 grafik *best* SAIFI dengan *enorm*  $1e^{-3}$  menunjukkan bahwa hasil model relokasi *sectionalizer* cukup baik karena adanya penurunan nilai SAIFI yang ditunjukkan dengan grafik yang semakin menurun, dimana nilai SAIFI sudah mencapai konvergen dalam iterasi kurang dari 160.

Pada Gambar 4.5 grafik *best* SAIDI dengan *enorm*  $1e^{-3}$  juga menunjukkan bahwa hasil model relokasi *sectionalizer* cukup baik yang diikuti dengan adanya penurunan nilai SAIDI yang ditunjukkan dengan grafik yang semakin menurun, dimana nilai SAIDI sudah mencapai konvergen dalam iterasi kurang dari 160.

Pada Gambar 4.6 grafik *best fitness* dengan *enorm*  $1e^{-3}$  menunjukkan bahwa hasil relokasi cukup baik ditunjukkan dengan adanya kenaikan grafik dimana fungsi *fitness* itu sendiri yaitu  $fitness = \frac{1}{SAIFI * SAIDI}$ . Dengan menurunnya nilai SAIFI dan SAIDI maka akan didapatkan grafik *fitness* yang semakin naik untuk mencapai konvergen dengan iterasi kurang dari 16.

Kemudian nilai indeks keandalan dihitung pada kondisi kedua dimana terhubung grid – mikrohidro. Tabel 4.14, Tabel 4.15, Tabel 4.16, dan Tabel 4.17 berikut adalah hasil percobaan kondisi grid – mikrohidro.

Tabel 4.14  
Skenario Percobaan Kondisi Grid – Mikrohidro dengan 8 *Sectionalizer*

	<b>Enorm</b>	<b>Best Solution (Lokasi Bus)</b>	<b>SAIFI (kali/tahun)</b>	<b>SAIDI (jam/tahun)</b>	<b>CAIDI (jam/tahun)</b>	<b>Fitness</b>
1	$1e^{-2}$	2, 21, 57, 68, 69, 97, 99, 103	4,0321	12,2771	3,04484	0,020201
2		2, 8, 16, 40, 42, 46, 57, 104	4,0282	12,2378	3,038032	0,020285
3		2, 12, 57, 21, 99, 105, 110, 118	4,0311	12,2666	3,042991	0,020223
1	$1e^{-3}$	33, 43, 57, 70, 72, 76, 78, 90	4,0288	12,2438	3,039069	0,020273
2		2, 8, 14, 57, 61, 81, 96, 99	4,03	12,2564	3,04129	0,020246
3		30, 43, 57, 66, 77, 90, 97, 108	4,0307	12,2629	3,042375	0,020231

Pada Tabel 4.14 hasil terbaik kondisi grid – mikrohidro dengan 8 *sectionalizer* untuk *enorm*  $1e^{-2}$  terletak pada percobaan kedua yaitu nilai SAIFI 4,0282 kali/tahun, SAIDI 12,2378 jam/tahun, CAIDI 3,038032 jam/tahun. Sedangkan untuk *enorm*  $1e^{-3}$  terletak pada percobaan pertama yaitu nilai SAIFI 4,0288 kali/tahun, SAIDI 12,2438 jam/tahun, CAIDI 3,039069 jam/tahun.

Tabel 4.15  
Skenario Percobaan Kondisi Grid – Mikrohidro dengan 9 *Sectionalizer*

	<b>Enorm</b>	<b>Best Solution</b>	<b>SAIFI</b>	<b>SAIDI</b>	<b>CAIDI</b>	<b>Fitness</b>
--	--------------	----------------------	--------------	--------------	--------------	----------------



		(Lokasi Bus)	(kali/ tahun)	(jam/ tahun)	(jam/ tahun)	
1	$1e^{-2}$	2, 3, 10, 19, 34, 43, 49, 57, 61	4,0281	12,2371	3,037934	0,020287
2		9, 31, 38, 43, 57, 68, 79, 83, 102	4,0276	12,2316	3,036945	0,020299
3		9, 10, 40, 41, 49, 57, 74, 78, 93,	4,0276	12,232	3,037044	0,020298
	Enorm	Best Solution (Lokasi Bus)	SAIFI (kali/ tahun)	SAIDI (jam/ tahun)	CAIDI (jam/ tahun)	Fitness
1	$1e^{-3}$	2, 14, 57, 82, 92, 99, 100, 101, 103	4,0314	12,2703	3,043682	0,020216
2		2, 9, 12, 31, 41, 57, 59, 81, 103	4,0272	12,2276	3,036253	0,020307
3		2, 10, 12, 23, 43, 49, 57, 68 112,	4,0287	12,2429	3,038921	0,020275

Pada Tabel 4.15 hasil terbaik kondisi grid – mikrohidro dengan 9 sectionalizer untuk enorm  $1e^{-2}$  terletak pada percobaan kedua yaitu nilai SAIFI 4,0276 kali/tahun, SAIDI 12,2316 jam/tahun, CAIDI 3,036945 jam/tahun. Sedangkan untuk enorm  $1e^{-3}$  terletak pada percobaan kedua yaitu nilai SAIFI 4,0272 kali/tahun, SAIDI 12,2276 jam/tahun, CAIDI 3,036253 jam/tahun.

Tabel 4.16  
Skenario Percobaan Kondisi Grid – Mikrohidro dengan 12 Sectionalizer

	Enorm	Best Solution (Lokasi Bus)	SAIFI (kali/ tahun)	SAIDI (jam/ tahun)	CAIDI (jam/ tahun)	Fitness
1	$1e^{-2}$	2, 21, 57, 68, 69, 97, 99, 103	4,0274	12,2297	3,036624	0,020303
2		2, 8, 16, 40, 42, 46, 57, 104	4,0267	12,223	3,035488	0,020318
3		2, 12, 21, 57, 99, 105, 110, 118	4,0263	12,2194	3,034896	0,020326
1	$1e^{-3}$	2, 12, 27, 37, 40, 43, 45, 57, 64, 91, 117, 118	4,0282	12,2383	3,038156	0,020285
2		8, 15, 15, 28, 40, 57, 70, 113, 117, 118, 118	4,03	12,2565	3,041315	0,020245
3		12, 27, 28, 33, 42, 48, 49, 51, 57, 60, 89, 112	4,0275	12,2313	3,036946	0,0203

Pada Tabel 4.16 hasil terbaik kondisi grid – mikrohidro dengan 12 sectionalizer untuk enorm  $1e^{-2}$  terletak pada percobaan ketiga yaitu nilai SAIFI 4,0263 kali/tahun, SAIDI 12,2194 jam/tahun, CAIDI 3,034896 jam/tahun. Sedangkan untuk enorm  $1e^{-3}$  terletak pada percobaan kedua yaitu nilai SAIFI 4,0275 kali/tahun, SAIDI 12,2313 jam/tahun, CAIDI 3,036946 jam/tahun.

Tabel 4.17  
Skenario Percobaan Kondisi Grid – Mikrohidro dengan 16 Sectionalizer

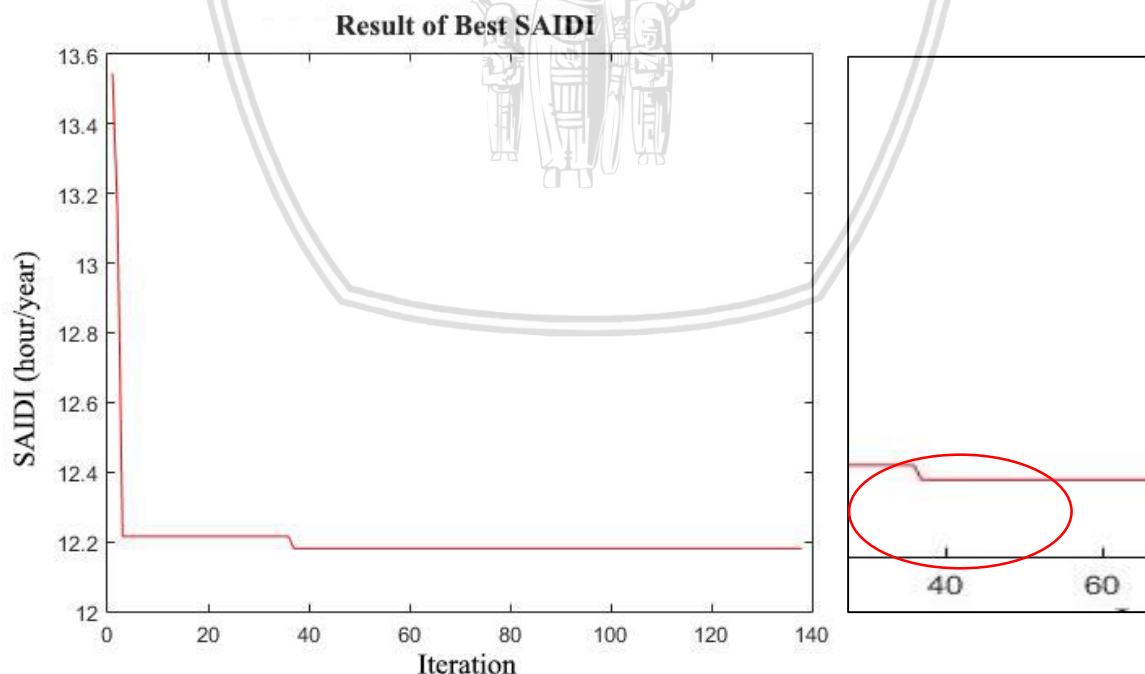
	Enorm	Best Solution (Lokasi Bus)	SAIFI (kali/ tahun)	SAIDI (jam/ tahun)	CAIDI (jam/ tahun)	Fitness
1	$1e^{-2}$	10, 35, 43, 57, 69, 74, 78, 82, 83, 85, 104, 104, 105, 117, 118, 118	4,0278	12,2336	3,037291	0,020294

2		2, 10, 18, 57, 59, 74, 79, 84, 88, 89, 90, 102, 104, 118, 118	4,0307	12,2628	3,04235	0,020232
3		2, 7, 8, 5, 36, 46, 52, 57, 58, 59, 63, 68, 71, 77, 102, 106	4,0265	12,2216	3,035291	0,020321

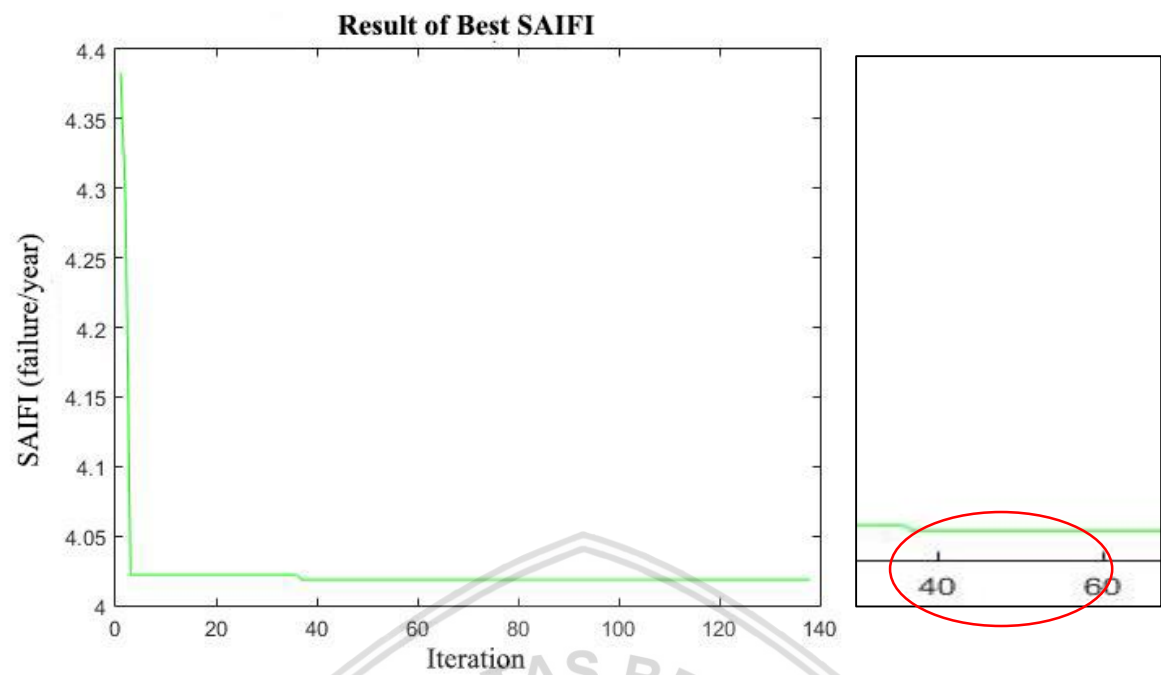
	Enorm	Best Solution (Lokasi Bus)	SAIFI (kali/tahun)	SAIDI (jam/tahun)	CAIDI (jam/tahun)	Fitness
1	$1e^{-3}$	8, 20, 21, 28, 33, 35, 44, 56, 57, 84, 91, 103, 105, 111, 113, 115	4,0255	12,2106	3,033313	0,020344
2		2, 16, 33, 51, 55, 57, 62, 64, 79, 97, 100, 118, 118	4,0279	12,2353	3,037637	0,020291
3		9, 14, 34, 21, 57, 61, 62, 69, 79, 81, 87, 88, 90, 96, 116, 118	4,0271	12,2275	3,036304	0,020308

Pada Tabel 4.17 hasil terbaik kondisi grid – mikrohidro dengan 16 sectionalizer untuk  $enorm 1e^{-2}$  terletak pada percobaan ketiga yaitu nilai SAIFI 4,0265 kali/tahun, SAIDI 12,2216 jam/tahun, CAIDI 3,035291 jam/tahun. Sedangkan untuk  $enorm 1e^{-3}$  terletak pada percobaan pertama yaitu nilai SAIFI 4,0255 kali/tahun, SAIDI 12,2275 jam/tahun, CAIDI 3,036304 jam/tahun.

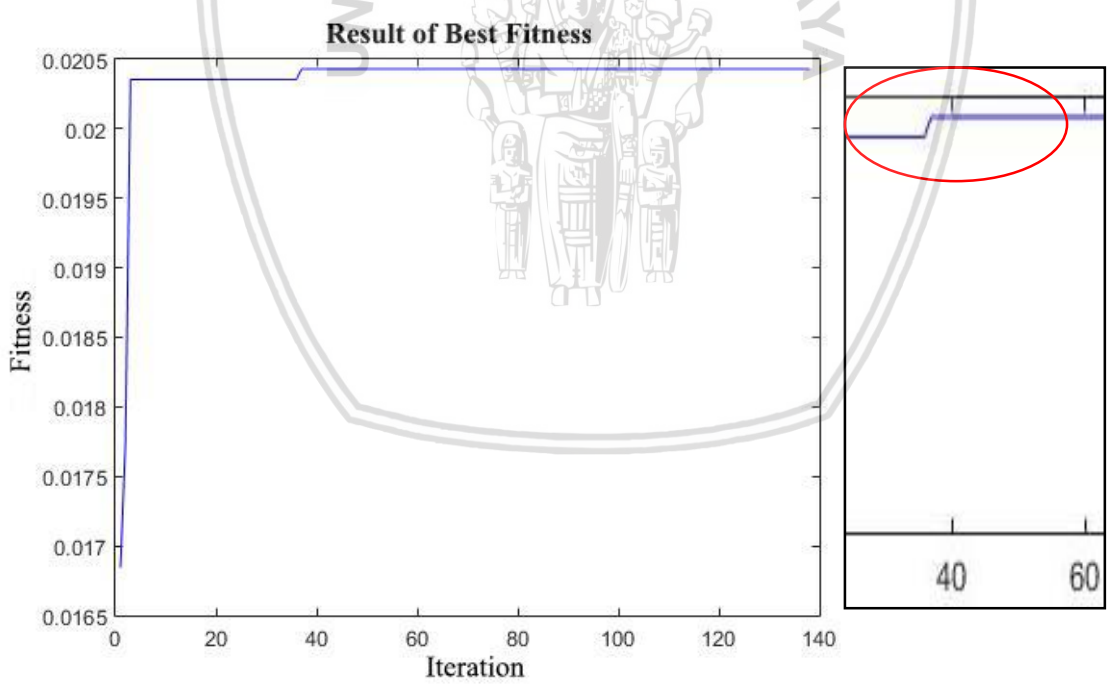
Pada Gambar 4.7, 4.8, dan 4.9 berikut ditunjukkan grafik untuk kondisi dengan 16 sectionalizer yang memberikan nilai indeks keandalan terbaik pada kondisi grid – mikrohidro.



Gambar 4.7 Hasil Best SAIDI Kondisi Grid – Mikrohidro dengan  $Enorm 1e^{-3}$



Gambar 4.8 Hasil Best SAIFI Kondisi Grid – Mikrohidro dengan  $Enorm 1e^{-3}$



Gambar 4.9 Hasil Best Fitness Kondisi Grid – Mikrohidro dengan  $Enorm 1e^{-3}$

Pada Gambar 4.7 grafik best SAIFI dengan  $enorm 1e^{-3}$  menunjukkan bahwa hasil model relokasi sectionalizer cukup baik karena adanya penurunan nilai SAIFI yang ditunjukkan

dengan grafik yang semakin menurun, dimana nilai SAIFI sudah mencapai konvergen dalam iterasi kurang dari 40.

Pada Gambar 4.8 grafik *best SAIDI* dengan *enorm*  $1e^{-3}$  juga menunjukkan bahwa hasil model relokasi *sectionalizer* cukup baik yang diikuti dengan adanya penurunan nilai SAIDI yang ditunjukkan dengan grafik yang semakin menurun, dimana nilai SAIDI sudah mencapai konvergen dalam iterasi kurang dari 40.

Pada Gambar 4.9 grafik *best Fitness* dengan *enorm*  $1e^{-3}$  menunjukkan bahwa hasil relokasi cukup baik ditunjukkan dengan adanya kenaikan grafik dimana fungsi *fitness* itu sendiri yaitu  $fitness = \frac{1}{SAIFI * SAIDI}$ . Dengan menurunnya nilai SAIFI dan SAIDI maka akan didapatkan grafik *fitness* yang semakin naik untuk mencapai konvergen dengan iterasi kurang dari 40.

Selanjutnya nilai indeks keandalan dihitung pada kondisi ketiga dimana terhubung grid – mikrohidro. Tabel 4.18, Tabel 4.19, Tabel 4.20, dan Tabel 4.21 berikut adalah hasil percobaan kondisi grid – *wind turbine* – mikrohidro.

Tabel 4.18  
Skenario Percobaan Kondisi Grid – *Wind Turbine* – Mikrohidro dengan 8 *Sectionalizer*

	Enorm	Best Solution (Lokasi Bus)	SAIFI (kali/ tahun)	SAIDI (jam/ tahun)	CAIDI (jam/ tahun)	Fitness
1	$1e^{-2}$	27, 34, 40, 41, 80, 94, 101, 109	4,0235	12,2306	3,039791	0,020321
2		40, 43, 50, 63, 79, 83, 89, 93	4,0243	12,2383	3,0411	0,020304
3		33, 42, 68, 81, 87, 88, 102, 118	4,0238	12,233	3,040161	0,020316
1	$1e^{-3}$	3, 8, 50, 68, 76, 100, 118, 118	4,0228	12,2235	3,038555	0,020336
2		8, 18, 35, 49, 81, 84, 110, 118	4,0241	12,2363	3,040754	0,020309
3		3, 12, 16, 30, 43, 85, 98, 105	4,0231	12,226	3,03895	0,020331

Pada Tabel 4.18 hasil terbaik kondisi grid – *wind turbine* – mikrohidro dengan 8 *sectionalizer* untuk *enorm*  $1e^{-2}$  terletak pada percobaan pertama yaitu nilai SAIFI 4,0235 kali/tahun, SAIDI 12,2306 jam/tahun, CAIDI 3,039791 jam/tahun. Sedangkan untuk *enorm*  $1e^{-3}$  terletak pada percobaan pertama yaitu nilai SAIFI 4,0228 kali/tahun, SAIDI 12,2235 jam/tahun, CAIDI 3,038555 jam/tahun.



Tabel 4.19

Skenario Percobaan Kondisi Grid – *Wind Turbine* – Mikrohidro dengan 9 *Sectionalizer*

	Enorm	Best Solution (Lokasi Bus)	SAIFI (kali/ tahun)	SAIDI (jam/ tahun)	CAIDI (jam/ tahun)	Fitness
1	$1e^{-2}$	2, 8, 33, 42, 66, 86, 100, 118	4,0222	12,2173	3,037467	0,02035
2		2, 9, 40, 41, 76, 81, 99, 112, 118	4,0223	12,2181	3,03759	0,020348
3		12, 41, 47, 55, 81, 82, 89, 101, 118	4,0232	12,2278	3,039322	0,020327
1	$1e^{-3}$	7, 35, 35, 42, 68, 85, 97, 103, 108	4,0222	12,2174	3,037492	0,02035
2		3, 40, 43, 55, 68, 77, 86, 86, 109	4,0218	12,2137	3,036874	0,020358
3		2, 12, 33, 42, 79, 82, 88, 104, 109	4,0222	12,2175	3,037517	0,02035

Pada Tabel 4.19 hasil terbaik kondisi grid – *wind turbine* – mikrohidro dengan 9 *sectionalizer* untuk *enorm*  $1e^{-2}$  terletak pada percobaan pertama yaitu nilai SAIFI 4,0222 kali/tahun, SAIDI 12,2173 jam/tahun, CAIDI 3,037467 jam/tahun. Sedangkan untuk *enorm*  $1e^{-3}$  terletak pada percobaan pertama yaitu nilai SAIFI 4,0218 kali/tahun, SAIDI 12,2137 jam/tahun, CAIDI 3,036874 jam/tahun.

Tabel 4.20

Skenario Percobaan Kondisi Grid – *Wind Turbine* – Mikrohidro dengan 12 *Sectionalizer*

	Enorm	Best Solution (Lokasi Bus)	SAIFI (kali/ tahun)	SAIDI (jam/ tahun)	CAIDI (jam/ tahun)	Fitness
1	$1e^{-2}$	2, 3, 33, 34, 43, 45, 49, 77, 79, 93, 106, 118	4,02	12,1955	3,033706	0,020397
2		2, 2, 3, 7, 20, 36, 42, 57, 77, 80, 82, 118	4,0213	12,2085	3,035959	0,020369
3		2, 35, 38, 40, 42, 45, 46, 68, 82, 86, 86, 90	4,0219	12,2136	3,036774	0,020358
1	$1e^{-3}$	9, 9, 19, 34, 35, 40, 64, 69, 76, 88, 97, 118	4,021	12,2053	3,035389	0,020376
2		3, 7, 8, 18, 18, 31, 35, 40, 45, 49, 80, 118	4,0187	12,182	3,031329	0,020427
3		2, 2, 3, 19, 34, 35, 50, 52, 59, 105, 109, 110	4,0229	12,2245	3,038728	0,020334

Pada Tabel 4.20 hasil terbaik kondisi grid – *wind turbine* – mikrohidro dengan 12 *sectionalizer* untuk *enorm*  $1e^{-2}$  terletak pada percobaan pertama yaitu nilai SAIFI 4,02 kali/tahun, SAIDI 12,1955 jam/tahun, CAIDI 3,033706 jam/tahun. Sedangkan untuk *enorm*  $1e^{-3}$  terletak pada percobaan kedua yaitu nilai SAIFI 4,0187 kali/tahun, SAIDI 12,182 jam/tahun, CAIDI 3,0381329 jam/tahun.



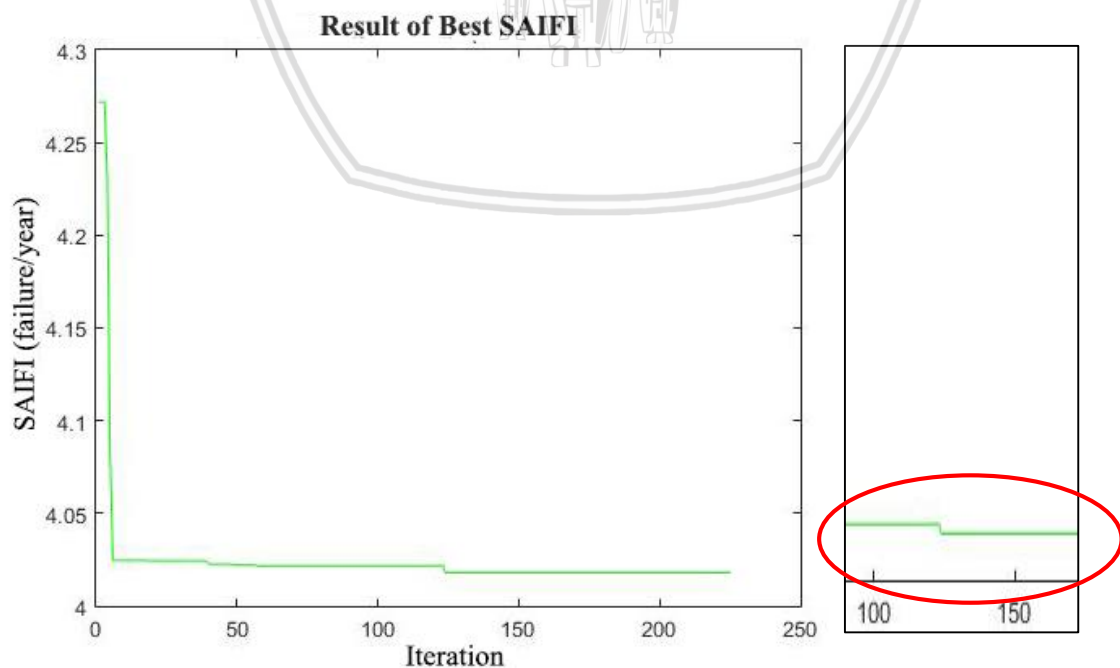
Tabel 4.21

Skenario Percobaan Kondisi Grid – *Wind Turbine* – Mikrohidro dengan 16 *Sectionalizer*

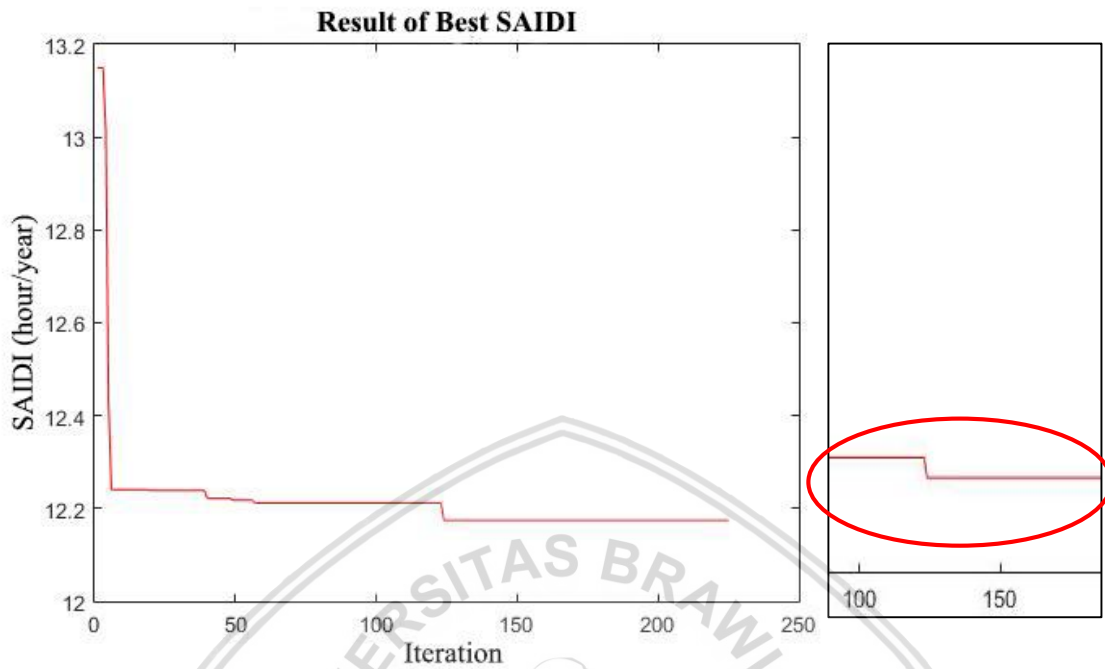
	Enorm	Best Solution (Lokasi Bus)	SAIFI (kali/ tahun)	SAIDI (jam/ tahun)	CAIDI (jam/ tahun)	Fitness
1	$1e^{-2}$	3, 12, 16, 31, 33, 49, 59, 60, 78, 78, 83, 86, 86, 99, 111, 114, 118	4,0208	12,2029	3,034943	0,020381
2		3, 8, 9, 16, 27, 42, 44, 47, 47, 68, 68, 78, 88, 89, 90, 118	4,0185	12,1804	3,031081	0,02043
3		2, 7, 8, 12, 35, 38, 52, 52, 60, 76, 99, 105, 115, 116, 118,	4,0201	12,1958	3,033706	0,020396
1	$1e^{-3}$	3, 4, 9, 12, 23, 28, 30, 31, 34, 42, 49, 58, 58, 83, 111, 113	4,0188	12,1835	3,031626	0,020424
2		7, 7, 18, 31, 42, 43, 47, 63, 66, 72, 78, 90, 92, 109, 111, 118,	4,0224	12,219	3,037739	0,020346
3		3, 12, 34, 40, 42, 46, 48, 48, 60, 79, 96, 97, 100, 113, 113, 118	4,0179	12,1745	3,030065	0,020443

Pada Tabel 4.21 hasil terbaik kondisi grid – *wind turbine* – mikrohidro dengan 16 *sectionalizer* untuk *enorm*  $1e^{-2}$  terletak pada percobaan kedua yaitu nilai SAIFI 4,0185 kali/tahun, SAIDI 12,1804 jam/tahun, CAIDI 3,031081 jam/tahun. Sedangkan untuk *enorm*  $1e^{-3}$  terletak pada percobaan ketiga yaitu nilai SAIFI 4,0179 kali/tahun, SAIDI 12,1745 jam/tahun, CAIDI 3,030065 jam/tahun.

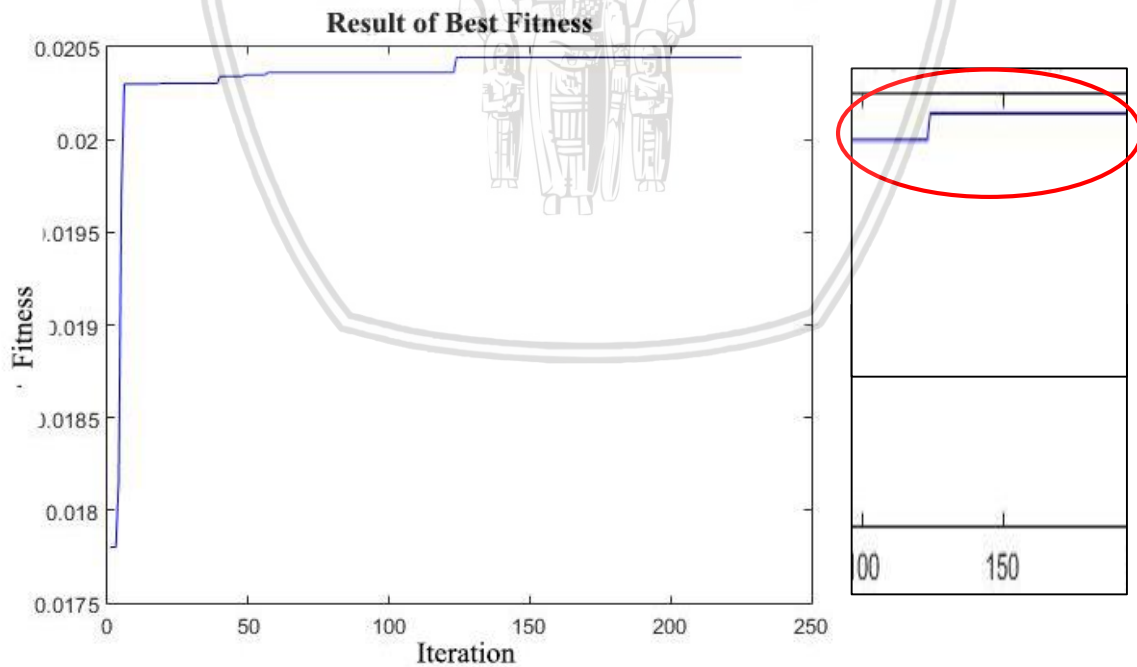
Pada Gambar 4.10, 4.11, dan 4.12 berikut ditunjukkan grafik untuk kondisi dengan 16 *sectionalizer* yang memberikan nilai indeks keandalan terbaik pada kondisi grid – mikrohidro.



Gambar 4.10 Hasil Best SAIFI Kondisi Grid – Wind Turbine – Mikrohidro dengan  $Enorm$   $1e^{-3}$



Gambar 4.11 Hasil Best SAIFI Kondisi Grid – Wind Turbine – Mikrohidro dengan  $Enorm$   $1e^{-3}$



Gambar 4.12 Hasil Best Fitness Kondisi Grid – Wind Turbine – Mikrohidro dengan  $Enorm$   $1e^{-3}$

Pada Gambar 4.10 grafik *best SAIFI* dengan *enorm*  $1e^{-3}$  menunjukkan bahwa hasil model relokasi *sectionalizer* cukup baik karena adanya penurunan nilai SAIFI yang ditunjukkan dengan grafik yang semakin menurun, dimana nilai SAIFI sudah mencapai konvergen dalam iterasi kurang dari 150.

Pada Gambar 4.11 grafik *best SAIDI* dengan *enorm*  $1e^{-3}$  juga menunjukkan bahwa hasil model relokasi *sectionalizer* cukup baik yang diikuti dengan adanya penurunan nilai SAIDI yang ditunjukkan dengan grafik yang semakin menurun, dimana nilai SAIDI sudah mencapai konvergen dalam iterasi kurang dari 150.

Pada Gambar 4.12 grafik *best fitness* dengan *enorm*  $1e^{-3}$  menunjukkan bahwa hasil relokasi cukup baik ditunjukkan dengan adanya kenaikan grafik. Dengan menurunnya nilai SAIFI dan SAIDI maka akan didapatkan grafik *fitness* yang semakin naik untuk mencapai konvergen dengan iterasi kurang dari 150.

Dari hasil percobaan didapatkan nilai yang bervariasi dikarenakan sistem optimasi menggunakan algoritma SA yang membangkitkan bilangan random. Dari hasil setiap kondisi diatas menunjukkan bertambahnya jumlah *sectionalizer* mempengaruhi nilai indeks keandalan pada penyulang Pujon. Akan tetapi perubahan indeks keandalan SAIFI, SAIDI, dan CAIDI tidak signifikan. Hasil percobaan keseluruhan kondisi didapatkan indeks keandalan tertinggi adalah kondisi grid – *wind turbine* – mikrohidro dengan *enorm*  $1e^{-3}$  dengan nilai SAIFI sebesar 4,0179 kali/tahun dan nilai SAIDI sebesar 12,11745 jam/tahun. Oleh karena itu semakin kecilnya nilai parameter *enorm* maka akan semakin kecil nilai SAIFI dan SAIDI nya. Nilai *enorm* mengacu pada parameter lain, semakin kecil nilainya maka kondisi iterasi akan semakin sedikit dan lebih cepat konvergen. Penurunan nilai SAIFI dan SAIDI pada ketiga skenario diatas sesuai dengan metoda SA yaitu proses pendinginan logam, ditunjukkan dengan grafik yang semakin menurun sebelum mencapai titik konvergen.

#### **4.7 Analisis Indeks Keandalan Sistem Distribusi Penyulang Pujon dengan *Ant Colony Optimization* (ACO)**

Percobaan diawali dengan menentukan parameter-parameter ACO. Pada *setting* awal, nilai-nilai parameter tersebut ditentukan. Percobaan ini dimaksudkan untuk mendapat nilai SAIDI dan SAIFI yang minimum/terbaik, dengan nilai *fitness* yang maksimum yang menunjukkan nilai keandalan dari sistem penyulang Pujon. Parameter-parameter ACO yang digunakan ditunjukkan pada Tabel 4.22.

Tabel 4.22  
Parameter Optimasi Perhitungan Menggunakan ACO

Jenis Parameter	Parameter	Nilai
<i>Ant Colony</i>	Iterasi Maksimum	100
	Jumlah Semut	40
	Alpha	1

Parameter-parameter ACO *disetting* seperti pada Tabel 4.22. Parameter ini mempengaruhi perubahan nilai dan letak *sectionalizer*. Parameter iterasi maksimum merupakan besarnya jumlah iterasi dalam percobaan, dimana sistem dapat mencapai konvergen sebelum iterasi maksimum yaitu 100. Semakin besar nilai iterasi maksimum, maka waktu proses perhitungan akan semakin lama. Alpha mengatur besarnya feromon. Semakin besar nilai alpha menyebabkan titik optimasi semakin sulit didapatkan sehingga sulit menuju ke titik yang optimum (Bayu, 2017). Parameter jumlah semut mencerminkan satu kombinasi posisi *sectionalizer* pada masing-masing bus. Setiap semut melewati ruas-ruas yaitu posisi penempatan *sectionalizer* untuk masing-masing bus. Semakin banyak jumlah semut yang digunakan, maka semakin banyak pilihan jalur terbaik yang dilewati semut karena setiap semut akan mencari jalur terbaik pada saat proses perhitungan. Jumlah semut yang digunakan berjumlah 40 sehingga pengacakan berlangsung baik.

#### 4.7.1 Skenario Percobaan Variasi *Rho*

Pada percobaan dan optimasi relokasi *sectionalizer* kondisi penambahan pembangkit terdistribusi dengan *Ant Colony Method* dilakukan dengan dua variasi laju penguapan (*rho*) yaitu laju penguapan feromon sebesar 0,1 dan 0,3 sebanyak tiga kali untuk empat variasi jumlah *sectionalizer* yaitu 8, 9, 12, dan 16 *sectionalizer* yang direlokasi maupun yang akan ditambahkan. Percobaan relokasi dan penambahan *sectionalizer* dilakukan dalam tiga skenario yaitu terhubung grid – *wind turbine*, grid - mikrohidro, dan grid – *wind turbine* – mikrohidro.

Percobaan kali ini bertujuan mencari nilai indeks keandalan terbaik dan nilai *fitness* terbaik dengan skenario pembangkit terdistribusi yang terhubung pada sistem. Data yang digunakan tetap menggunakan data panjang saluran dan jumlah pelanggan penyulang Pujon. Tabel 4.23, Tabel 4.24, Tabel 4.25, dan Tabel 4.26 berikut adalah hasil percobaan kondisi grid – *wind turbine*.

Tabel 4.23

Skenario Percobaan Kondisi Grid – *Wind Turbine* dengan 8 *Sectionalizer*

	<i>Rho</i>	<i>Best Solution</i> (Lokasi Bus)	SAIFI (kali/ tahun)	SAIDI (jam/ tahun)	CAIDI (jam/ tahun)	<i>Fitness</i>
1	0,1	3, 8, 9, 33, 34, 35, 40, 41,	4,0231	12,1659	3,024011	0,330687
2		3, 7, 8, 12, 35, 40, 41, 80	4,0236	12,1707	3,024829	0,330597
3		3, 8, 12, 34, 35, 40, 41, 42,	4,0232	12,1675	3,024334	0,330651
1	0,3	3, 7, 8, 9, 42, 43, 68, 83	4,0204	12,1768	3,028753	0,330169
2		3, 7, 9, 12, 34, 40, 43, 100	4,0239	12,1746	3,025572	0,330516
3		3, 8, 12, 33, 34, 35, 92, 112	4,0229	12,1636	3,02359	0,330733

Pada Tabel 4.23 hasil terbaik kondisi grid – *wind turbine* dengan 8 *sectionalizer* untuk *rho* 0,1 terletak pada percobaan pertama yaitu nilai SAIFI 4,0231 kali/tahun, SAIDI 12,1659 jam/tahun, CAIDI 3,024011 jam/tahun. Sedangkan untuk *rho* 0,3 terletak pada percobaan pertama yaitu nilai SAIFI 4,0204 kali/tahun, SAIDI 12,1768 jam/tahun, CAIDI 3,028753 jam/tahun.

Tabel 4.24

Skenario Percobaan Kondisi Grid – *Wind Turbine* dengan 9 *Sectionalizer*

	<i>Rho</i>	<i>Best Solution</i> (Lokasi Bus)	SAIFI (kali/ tahun)	SAIDI (jam/ tahun)	CAIDI (jam/ tahun)	<i>Fitness</i>
1	0,1	3, 8, 9, 12, 33, 34, 40, 43, 81	4,022	12,1549	3,022103	0,330895
2		3, 7, 8, 12, 34, 40, 41, 42, 43,	4,0213	12,1485	3,021038	0,331012
3		3, 7, 8, 9, 12, 40, 42, 76, 82	4,0223	12,1582	3,022698	0,33083
1	0,3	3, 7, 8, 33, 40, 41, 42, 43, 68, 81	4,023	12,1651	3,023888	0,3307
2		3, 8, 12, 33, 34, 35, 43, 92, 112	4,0244	12,1791	3,026314	0,330435
3		3, 7, 9, 12, 34, 35, 40, 42, 43	4,0213	12,1477	3,020839	0,331034

Pada Tabel 4.24 hasil terbaik kondisi grid – *wind turbine* dengan 9 *sectionalizer* untuk *rho* 0,1 terletak pada percobaan kedua yaitu nilai SAIFI 4,0213 kali/tahun, SAIDI 12,1485 jam/tahun, CAIDI 0,331012 jam/tahun. Sedangkan untuk *rho* 0,3 terletak pada percobaan ketiga yaitu nilai SAIFI 4,0213 kali/tahun, SAIDI 12,1477 jam/tahun, CAIDI 3,020839 jam/tahun.



Tabel 4.25

Skenario Percobaan Kondisi Grid – *Wind Turbine* dengan 12 *Sectionalizer*

	<i>Rho</i>	<i>Best Solution</i> (Lokasi Bus)	SAIFI (kali/ tahun)	SAIDI (jam/ tahun)	CAIDI (jam/ tahun)	<i>Fitness</i>
1	0,1	3, 7, 8, 9, 12, 33, 35, 40, 43, 76, 78, 96	4,0187	12,1221	3,016423	0,331518
2		3, 7, 8, 9, 12, 34, 40, 42, 43, 68, 78, 81	4,0183	12,1183	3,015778	0,331589
3		3, 7, 8, 9, 12, 33, 35, 40, 41, 43, 76, 99	4,018	12,1151	3,015207	0,331652
1	0,3	7, 9, 12, 33, 34, 35, 40, 43, 44, 79, 81, 97	4,0207	12,1425	3,019997	0,331126
2		3, 7, 9, 12, 34, 35, 40, 41, 51, 57, 79, 104	4,021	12,1451	3,020418	0,33108
3		3, 7, 8, 35, 40, 41, 43, 44, 51, 77, 98, 99	4,0207	12,1422	3,019922	0,331134

Pada Tabel 4.25 hasil terbaik kondisi grid – *wind turbine* dengan 12 *sectionalizer* untuk *rho* 0,1 terletak pada percobaan ketiga yaitu nilai SAIFI 4,018 kali/tahun, SAIDI 12,1151 jam/tahun, CAIDI 3,015207 jam/tahun. Sedangkan untuk *rho* 0,3 terletak pada percobaan ketiga yaitu nilai SAIFI 4,0207 kali/tahun, SAIDI 12,1422 jam/tahun, CAIDI 3,019922 jam/tahun.

Tabel 4.26

Skenario Percobaan Kondisi Grid – *Wind Turbine* dengan 16 *Sectionalizer*

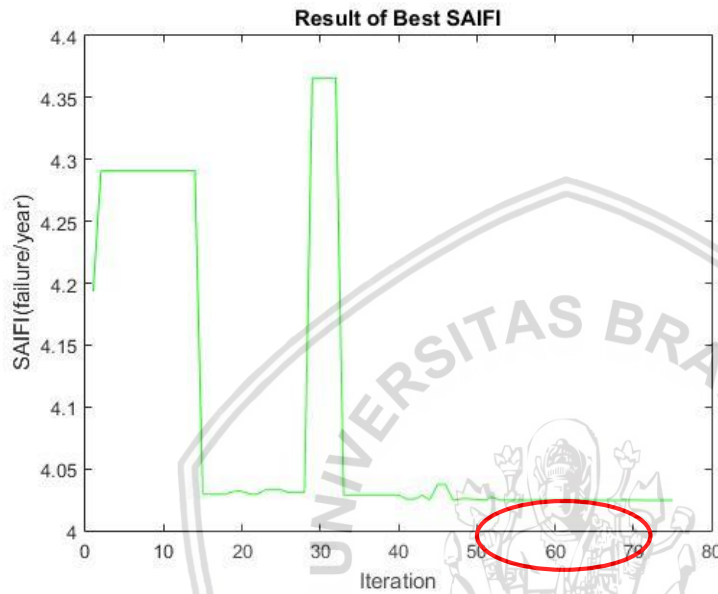
	<i>Rho</i>	<i>Best Solution</i> (Lokasi Bus)	SAIFI (kali/ tahun)	SAIDI (jam/ tahun)	CAIDI (jam/ tahun)	<i>Fitness</i>
1	0,1	3, 7, 8, 12, 33, 34, 35, 40, 41, 43, 49, 55, 76, 82, 96, 100	4,0166	12,1014	3,012847	0,331912
2		3, 7, 8, 9, 12, 33, 34, 35, 40, 41, 42, 43, 77, 78, 82, 89	4,0136	12,071	3,007524	0,332499
3		3, 7, 8, 9, 12, 33, 35, 40, 41, 42, 43, 46, 68, 77, 82, 97	4,0144	12,0787	3,008843	0,332354
1	0,3	7, 8, 9, 33, 35, 40, 41, 42, 61, 68, 78, 82, 83, 85, 88, 96	4,0189	12,1244	3,01685	0,33147
2		3, 7, 8, 12, 33, 35, 40, 41, 43, 44, 68, 70, 79, 80, 98, 106	4,0175	12,1101	3,014337	0,331748
3		3, 7, 8, 9, 12, 33, 34, 40, 41, 44, 57, 68, 76, 78, 107, 112	4,017	12,1047	3,013368	0,331855

Pada Tabel 4.26 hasil terbaik kondisi grid – *wind turbine* dengan 16 *sectionalizer* untuk *rho* 0,1 terletak pada percobaan kedua yaitu nilai SAIFI 4,0136 kali/tahun, SAIDI 12,071 jam/tahun, CAIDI 3,007524 jam/tahun. Sedangkan untuk *rho* 0,3 terletak pada percobaan

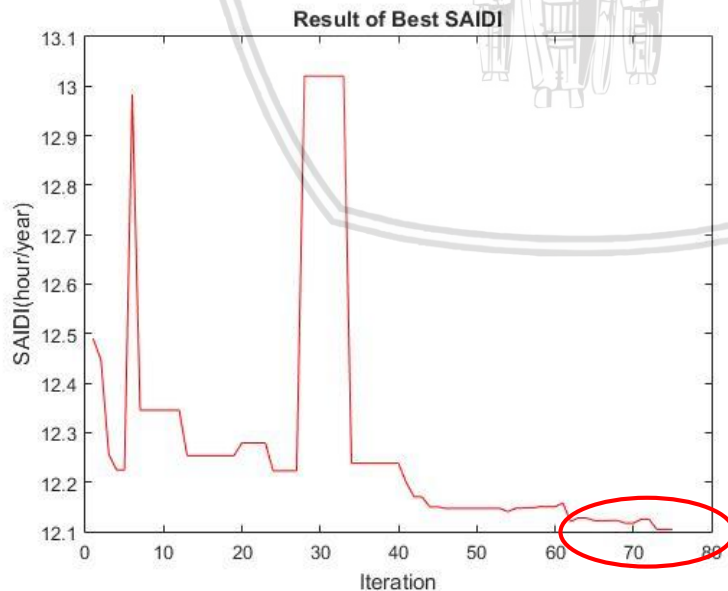


ketiga yaitu nilai SAIFI 4,017 kali/tahun, SAIDI 12,1047 jam/tahun, CAIDI 3,013368 jam/tahun.

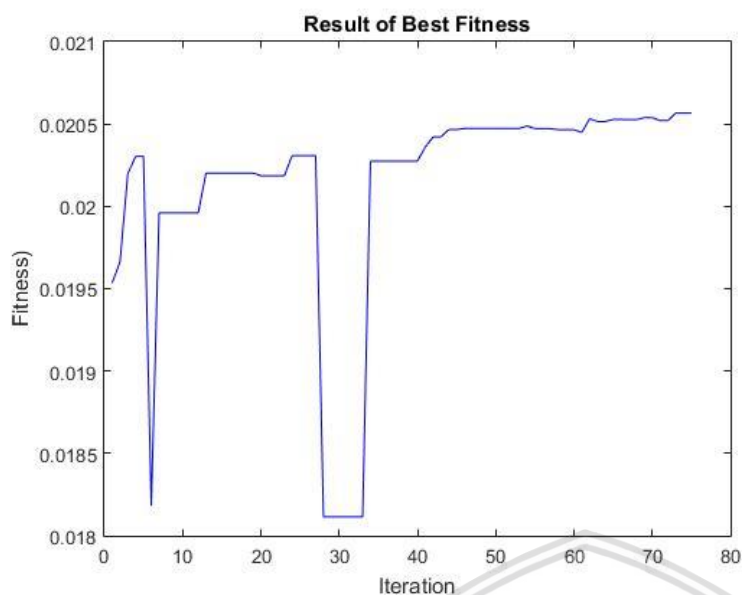
Pada Gambar 4.13, 4.14, dan 4.15 berikut ditunjukkan grafik untuk kondisi dengan 16 sectionalizer yang memberikan nilai indeks keandalan terbaik pada kondisi grid – mikrohidro.



Gambar 4.13 Hasil Best SAIFI Kondisi Grid – Wind Turbine dengan Rho 0,1



Gambar 4.14 Hasil Best SAIDI Kondisi Grid – Wind Turbine dengan Rho 0,1



Gambar 4.15 Hasil *Best Fitness* Kondisi Grid – Wind Turbine dengan  $Rho$  0,1

Pada Gambar 4.11 grafik *best* SAIFI dengan  $rho$  0,1 menunjukkan bahwa hasil model relokasi *sectionalizer* cukup baik karena adanya penurunan nilai SAIFI yang ditunjukkan dengan grafik yang semakin menurun, dimana nilai SAIFI sudah mencapai konvergen dalam iterasi kurang dari 80.

Pada Gambar 4.12 grafik *best* SAIDI dengan  $rho$  0,1 juga menunjukkan bahwa hasil model relokasi *sectionalizer* cukup baik yang diikuti dengan adanya penurunan nilai SAIDI yang ditunjukkan dengan grafik yang semakin menurun, dimana nilai SAIDI sudah mencapai konvergen dalam iterasi kurang dari 80.

Pada Gambar 4.13 grafik *best Fitness* dengan  $rho$  0,1 menunjukkan bahwa hasil relokasi cukup baik ditunjukkan dengan adanya kenaikan grafik dimana fungsi *fitness* itu sendiri yaitu  $fitness = \frac{1}{SAIFI * SAIDI}$ . Dengan menurunnya nilai SAIFI dan SAIDI maka akan didapatkan grafik *fitness* yang semakin naik untuk mencapai konvergen dengan iterasi kurang dari 80.

Tabel 4.27, Tabel 4.28, Tabel 4.29, dan Tabel 4.30 berikut adalah hasil percobaan kondisi grid – mikrohidro.

Tabel 4.27

Skenario Percobaan Kondisi Grid – Mikrohidro dengan 8 *Sectionalizer*

	<i>Rho</i>	<i>Best Solution</i> (Lokasi Bus)	SAIFI (kali/ tahun)	SAIDI (jam/ tahun)	CAIDI (jam/ tahun)	<i>Fitness</i>
1	0,1	3, 7, 8, 9, 12, 35, 43, 57	4,0282	12,1883	3,025744	0,330497
2		7, 8, 12, 33, 34, 35, 57, 76,	4,0296	12,2024	3,028191	0,33023
3		3, 7, 9, 12, 40, 42, 57, 97	4,0299	12,205	3,028611	0,330184
1	0,3	3, 8, 9, 33, 41, 57, 80, 82,	4,0306	12,2121	3,029847	0,33005
2		3, 7, 8, 9, 12, 33, 47, 57	4,0292	12,1986	3,027549	0,3303
3		3, 7, 8, 9, 35, 43, 57, 79	4,0293	12,1997	3,027747	0,330279

Pada Tabel 4.27 hasil terbaik kondisi grid – mikrohidro dengan 8 *sectionalizer* untuk *rho* 0,1 terletak pada percobaan pertama yaitu nilai SAIFI 4,0282 kali/tahun, SAIDI 12,1883 jam/tahun, CAIDI 3,025744 jam/tahun. Sedangkan untuk *rho* 0,3 terletak pada percobaan kedua yaitu nilai SAIFI 4,0292 kali/tahun, SAIDI 12,1986 jam/tahun, CAIDI 3,027549 jam/tahun.

Tabel 4.28

Skenario Percobaan Kondisi Grid – Mikrohidro dengan 9 *Sectionalizer*

	<i>Rho</i>	<i>Best Solution</i> (Lokasi Bus)	SAIFI (kali/ tahun)	SAIDI (jam/ tahun)	CAIDI (jam/ tahun)	<i>Fitness</i>
1	0,1	3, 8, 9, 12, 35, 43, 57, 78, 96	4,029	12,1961	3,027079	0,330352
2		3, 7, 8, 9, 12, 42, 43, 57, 81	4,0275	12,1814	3,024556	0,330627
3		3, 7, 8, 33, 43, 34, 35, 57, 77	4,0281	12,187	3,025496	0,330524
1	0,3	3, 8, 9, 12, 40, 55, 57, 68, 103	4,0301	12,1653	3,023888	0,3307
2		3, 7, 8, 9, 33, 57, 78, 83, 85	4,0298	12,1792	3,026314	0,330435
3		3, 7, 9, 12, 33, 34, 40, 57, 97	4,0282	12,1473	3,020839	0,331034

Pada Tabel 4.28 hasil terbaik kondisi grid – mikrohidro dengan 9 *sectionalizer* untuk *rho* 0,1 terletak pada percobaan kedua yaitu nilai SAIFI 4,0275 kali/tahun, SAIDI 12,1814 jam/tahun, CAIDI 3,024556 jam/tahun. Sedangkan untuk *rho* 0,3 terletak pada percobaan ketiga yaitu nilai SAIFI 4,0282 kali/tahun, SAIDI 12,1473 jam/tahun, CAIDI 3,020839 jam/tahun.

Tabel 4.29

Skenario Percobaan Kondisi Grid – Mikrohidro dengan 12 *Sectionalizer*

	<i>Rho</i>	<i>Best Solution</i> (Lokasi Bus)	SAIFI (kali/ tahun)	SAIDI (jam/ tahun)	CAIDI (jam/ tahun)	<i>Fitness</i>
1	0,1	3, 7, 8, 9, 12, 33, 35, 40, 42, 43, 57, 76	4,0227	12,1336	3,016283	0,331534
2		8, 9, 12, 33, 34, 40, 41, 42, 55, 57, 78, 100	4,0261	12,1672	3,022081	0,330524
3		3, 7, 8, 9, 12, 33, 34, 35, 40, 41, 57, 77	4,0238	12,1448	3,018241	0,331319
1	0,3	3, 8, 9, 12, 33, 35, 40, 41, 43, 56, 57, 78,	4,0245	12,1514	3,019356	0,331196
2		3, 7, 8, 9, 12, 34, 35, 43, 57, 76, 81, 82,	4,0242	12,1484	3,018836	0,331253
3		8, 10, 33, 34, 35, 41, 42, 43, 57, 68, 102	4,0278	12,1841	3,025001	0,330578

Pada Tabel 4.29 hasil terbaik kondisi grid – mikrohidro dengan 12 *sectionalizer* untuk *rho* 0,1 terletak pada percobaan ketiga yaitu nilai SAIFI 4,0238 kali/tahun, SAIDI 12,1448 jam/tahun, CAIDI 3,018241 jam/tahun. Sedangkan untuk *rho* 0,3 terletak pada percobaan kedua yaitu nilai SAIFI 4,0242 kali/tahun, SAIDI 12,1484 jam/tahun, CAIDI 3,018836 jam/tahun.

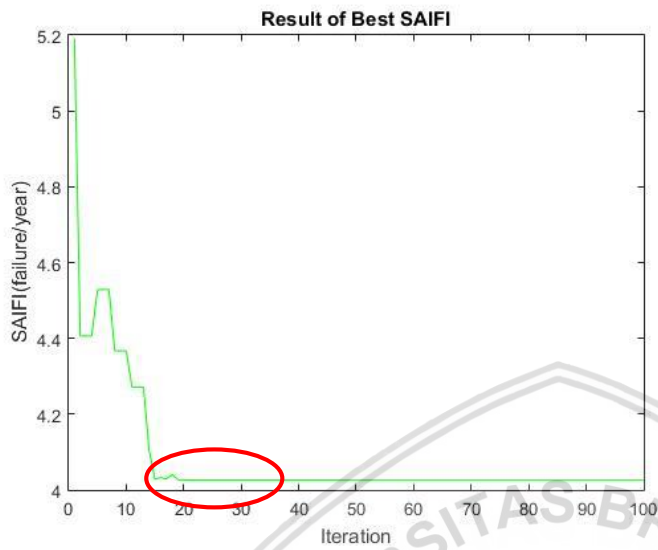
Tabel 4.30

Skenario Percobaan Kondisi Grid – Mikrohidro dengan 16 *Sectionalizer*

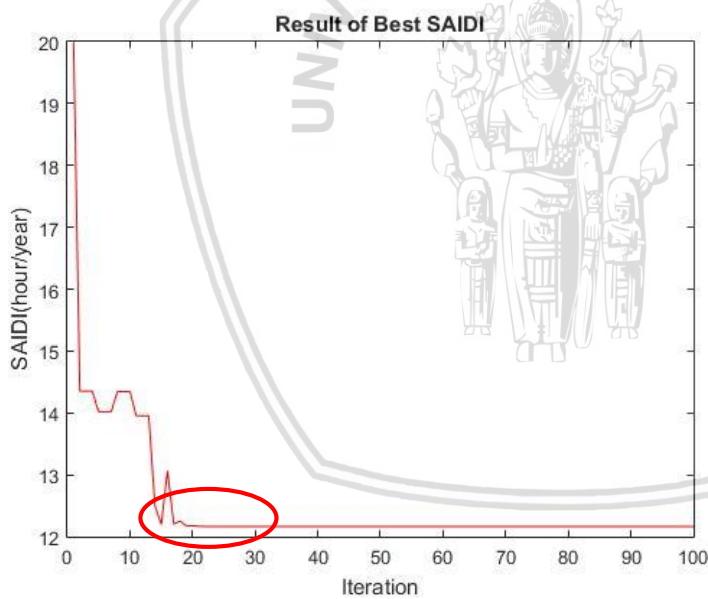
	<i>Rho</i>	<i>Best Solution</i> (Lokasi Bus)	SAIFI (kali/ tahun)	SAIDI (jam/ tahun)	CAIDI (jam/ tahun)	<i>Fitness</i>
1	0,1	3, 7, 9, 12, 33, 34, 35, 40, 42, 43, 44, 77, 78, 80	4,0196	12,102	3,010747	0,332143
2		3, 7, 8, 9, 12, 33, 35, 43, 41, 45, 47, 57, 76, 77, 79, 80	4,0208	12,1148	3,013032	0,331892
3		3, 7, 8, 9, 12, 33, 34, 41, 42, 43, 45, 57, 68, 76, 78, 80	4,0196	12,1029	3,010971	0,332119
1	0,3	3, 7, 9, 10, 12, 35, 41, 42, 43, 57, 77, 78, 85, 86, 103, 105	4,0189	12,1244	3,01685	0,33147
2		8, 9, 10, 12, 35, 40, 41, 43, 44, 48, 57, 58, 77, 82, 86, 102	4,0173	12,1101	3,014337	0,331748
3		3, 5, 7, 8, 12, 19, 41, 42, 46, 57, 58, 77, 78, 81, 86, 100	4,017	12,1042	3,013243	0,331855

Pada Tabel 4.30 hasil terbaik kondisi grid – mikrohidro dengan 16 *sectionalizer* untuk *rho* 0,1 terletak pada percobaan pertama yaitu nilai SAIFI 4,0196 kali/tahun, SAIDI 12,102 jam/tahun, CAIDI 3,010747 jam/tahun. Sedangkan untuk *rho* 0,3 terletak pada percobaan ketiga yaitu nilai SAIFI 4,017 kali/tahun, SAIDI 12,1042 jam/tahun, CAIDI 3,013243 jam/tahun.

Pada Gambar 4.16, 4.17, dan 4.18 berikut ditunjukkan grafik untuk kondisi dengan 16 sectionalizer yang memberikan nilai indeks keandalan terbaik pada kondisi grid – mikrohidro.

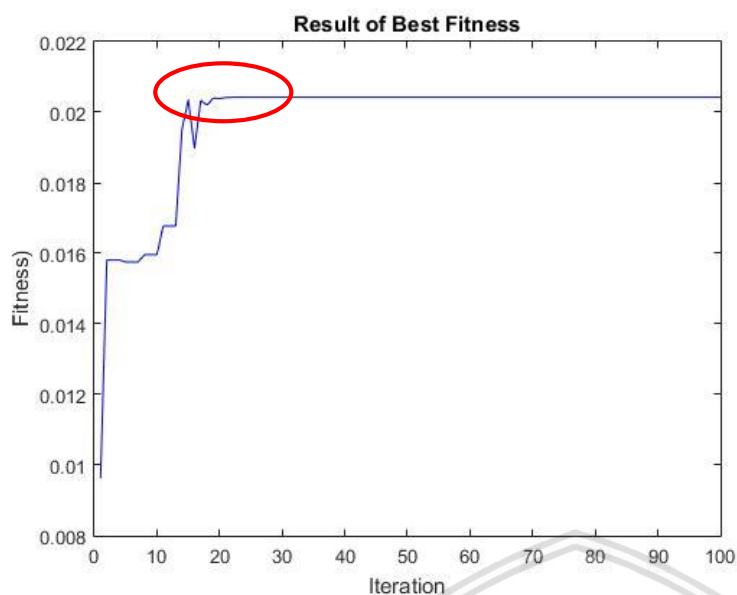


Gambar 4.16 Hasil Best SAIFI Kondisi Grid – Mikrohidro dengan  $Rho$  0,1



Gambar 4.17 Hasil Best SAIDI Kondisi Grid – Mikrohidro dengan  $Rho$  0,1





Gambar 4.18 Hasil *Best Fitness* Kondisi Grid – Mikrohidro dengan  $Rho$  0,1

Pada Gambar 4.16 grafik *best SAIFI* dengan  $rho$  0,1 menunjukkan bahwa hasil model relokasi *sectionalizer* cukup baik karena adanya penurunan nilai SAIFI yang ditunjukkan dengan grafik yang semakin menurun, dimana nilai SAIFI sudah mencapai konvergen dalam iterasi kurang dari 30.

Pada Gambar 4.17 grafik *best SAIDI* dengan  $rho$  0,1 juga menunjukkan bahwa hasil model relokasi *sectionalizer* cukup baik yang diikuti dengan adanya penurunan nilai SAIDI yang ditunjukkan dengan grafik yang semakin menurun, dimana nilai SAIDI sudah mencapai konvergen dalam iterasi kurang dari 30.

Pada Gambar 4.18 grafik *best fitness* dengan  $rho$  0,1 menunjukkan bahwa hasil relokasi cukup baik ditunjukkan dengan adanya kenaikan grafik dimana fungsi *fitness* itu sendiri yaitu  $fitness = \frac{1}{SAIFI * SAIDI}$ . Dengan menurunnya nilai SAIFI dan SAIDI maka akan didapatkan grafik *fitness* yang semakin naik untuk mencapai konvergen dengan iterasi kurang dari 30.

Tabel 4.31, Tabel 4.32, Tabel 4.33, dan Tabel 4.34 berikut adalah hasil percobaan kondisi grid – mikrohidro.



Tabel 4.31

Skenario Percobaan Kondisi Grid – *Wind Turbine* – Mikrohidro dengan 8 *Sectionalizer*

	<i>Rho</i>	<i>Best Solution</i> (Lokasi Bus)	SAIFI (kali/ tahun)	SAIDI (jam/ tahun)	CAIDI (jam/ tahun)	<i>Fitness</i>
1	0,1	3, 7, 8, 12, 33, 57, 77, 82,	4,0182	12,177	3,030461	0,329983
2		3, 7, 8, 9, 33, 34, 43, 57	4,0167	12,162	3,027859	0,330266
3		3, 7, 8, 9, 12, 43, 57, 79	4,0171	12,664	3,028653	0,33018
1	0,3	3, 8, 12, 33, 41, 57, 87, 114	4,0199	12,1946	3,033558	0,329646
2		3, 12, 33, 34, 35, 48, 57, 83	4,0195	12,1907	3,03289	0,329719
3		3, 9, 12, 33, 41, 43, 57, 79,	4,018	12,1756	3,030264	0,330004

Pada Tabel 4.31 hasil terbaik kondisi grid – *wind turbine* – mikrohidro dengan 8 *sectionalizer* untuk *rho* 0,1 terletak pada percobaan kedua yaitu nilai SAIFI 4,0167 kali/tahun, SAIDI 12,162 jam/tahun, CAIDI 3,027859 jam/tahun. Sedangkan untuk *rho* 0,3 terletak pada percobaan ketiga yaitu nilai SAIFI 4,018 kali/tahun, SAIDI 12,1756 jam/tahun, CAIDI 3,030264 jam/tahun.

Tabel 4.32

Skenario Percobaan Kondisi Grid – *Wind Turbine* – Mikrohidro dengan 9 *Sectionalizer*

	<i>Rho</i>	<i>Best Solution</i> (Lokasi Bus)	SAIFI (kali/ tahun)	SAIDI (jam/ tahun)	CAIDI (jam/ tahun)	<i>Fitness</i>
1	0,1	3, 8, 12, 33, 34, 40, 43, 57, 81	4,0165	12,1599	3,027487	0,330307
2		3, 7, 8, 33, 35, 40, 41, 42, 57	4,0157	12,1523	3,026197	0,33018
3		3, 7, 9, 12, 35, 57, 68, 80	4,0165	12,1606	3,027661	0,330288
1	0,3	3, 7, 8, 9, 12, 40, 57, 76, 101	4,0167	12,1619	3,027834	0,330269
2		3, 7, 8, 12, 33, 42, 45, 57, 96	4,0174	12,1698	3,029273	0,330112
3		3, 7, 9, 33, 41, 48, 57, 68, 78	4,018	12,1755	3,030239	0,330007

Pada Tabel 4.32 hasil terbaik kondisi grid – *wind turbine* – mikrohidro dengan 9 *sectionalizer* untuk *rho* 0,1 terletak pada percobaan kedua yaitu nilai SAIFI 4,0157 kali/tahun, SAIDI 12,1523 jam/tahun, CAIDI 3,026197 jam/tahun. Sedangkan untuk *rho* 0,3 terletak pada percobaan pertama yaitu nilai SAIFI 4,0167 kali/tahun, SAIDI 12,1619 jam/tahun, CAIDI 3,027834 jam/tahun.

Tabel 4.33

Skenario Percobaan Kondisi Grid – *Wind Turbine* – Mikrohidro dengan 12 *Sectionalizer*

	<i>Rho</i>	<i>Best Solution</i> (Lokasi Bus)	SAIFI (kali/ tahun)	SAIDI (jam/ tahun)	CAIDI (jam/ tahun)	<i>Fitness</i>
--	------------	--------------------------------------	---------------------------	--------------------------	--------------------------	----------------

1	0,1	3, 7, 8, 12, 33, 35, 40, 41, 57, 76, 78, 83	4,0128	12,1236	3,021232	0,330991
	<b>Rho</b>	<b>Best Solution (Lokasi Bus)</b>	<b>SAIFI (kali/tahun)</b>	<b>SAIDI (jam/tahun)</b>	<b>CAIDI (jam/tahun)</b>	<b>Fitness</b>
2	0,1	3, 7, 8, 12, 33, 34, 35, 40, 42, 43, 57, 80	4,0114	12,1097	3,018821	0,331255
3		3, 7, 8, 9, 12, 35, 40, 41, 43, 57, 68, 77,	4,0115	12,1104	3,018921	0,331244
1	0,3	3, 7, 9, 34, 35, 42, 43, 57, 77, 80, 104, 110	4,0151	12,146	3,02508	0,33057
2		3, 7, 8, 9, 12, 15, 40, 41, 42, 45, 57, 80	4,0136	12,1317	3,022648	0,330836
3		7, 8, 12, 34, 35, 40, 41, 43, 49, 57, 76, 80	4,0138	12,133	3,022821	0,330817

Pada Tabel 4.33 hasil terbaik kondisi grid – *wind turbine* – mikrohidro dengan 12 *sectionalizer* untuk  $\rho$  0,1 terletak pada percobaan kedua yaitu nilai SAIFI 4,0114 kali/tahun, SAIDI 12,1097 jam/tahun, CAIDI 3,018821 jam/tahun. Sedangkan untuk  $\rho$  0,3 terletak pada percobaan kedua yaitu nilai SAIFI 4,0136 kali/tahun, SAIDI 12,1317 jam/tahun, CAIDI 3,022648 jam/tahun.

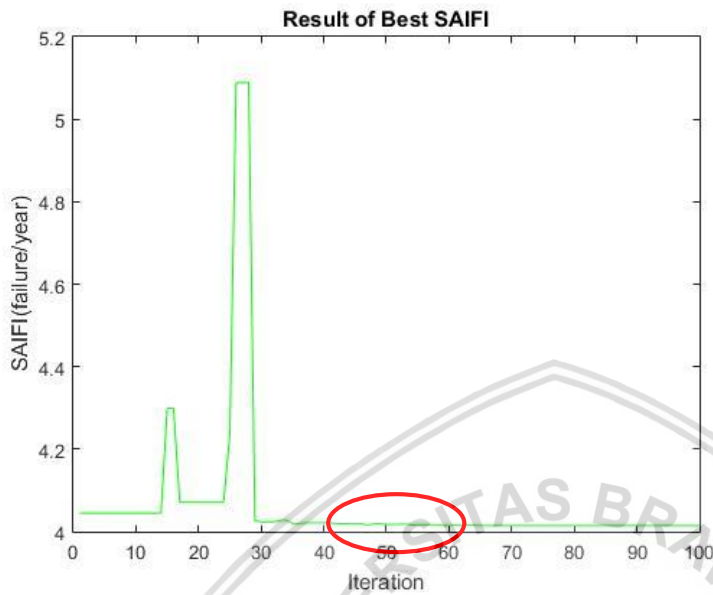
Tabel 4.34

Skenario Percobaan Kondisi Grid – *Wind Turbine* – Mikrohidro dengan 16 *Sectionalizer*

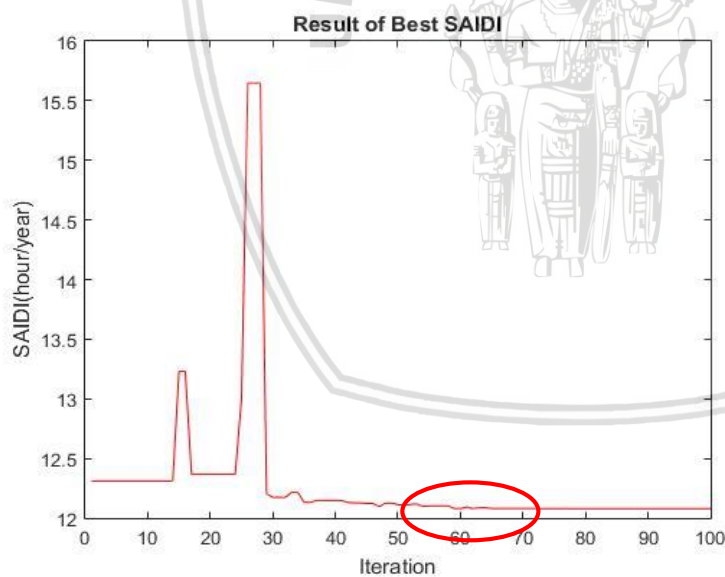
	<b>Rho</b>	<b>Best Solution (Lokasi Bus)</b>	<b>SAIFI (kali/tahun)</b>	<b>SAIDI (jam/tahun)</b>	<b>CAIDI (jam/tahun)</b>	<b>Fitness</b>
1	0,1	3, 7, 8, 9, 12, 34, 41, 42, 57, 68, 76, 77, 78, 79, 82, 96	4,0093	12,0887	3,015165	0,331657
2		3, 7, 8, 9, 33, 34, 35, 40, 42, 57, 76, 79, 80, 82, 100, 107	4,0098	12,0931	3,015886	0,331244
3		3, 7, 8, 9, 13, 34, 35, 41, 42, 43, 57, 77, 78, 79, 82, 96	4,0099	12,0939	3,01601	0,331564
1	0,3	9, 12, 33, 35, 40, 41, 42, 43, 50, 57, 77, 80, 83, 100, 104, 105	4,0126	12,1218	3,020934	0,331023
2		3, 7, 8, 12, 34, 40, 42, 44, 45, 46, 57, 60, 78, 81, 83, 96	4,0125	12,1206	3,02071	0,331048
3		8, 9, 12, 23, 34, 35, 41, 42, 43, 45, 57, 68, 78, 79, 82, 84	4,0116	12,111	3,018995	0,331236

Pada Tabel 4.34 hasil terbaik kondisi grid – *wind turbine* – mikrohidro dengan 16 *sectionalizer* untuk  $\rho$  0,1 terletak pada percobaan pertama yaitu nilai SAIFI 4,0093 kali/tahun, SAIDI 12,0887 jam/tahun, CAIDI 3,015165 jam/tahun. Sedangkan untuk  $\rho$  0,3 terletak pada percobaan ketiga yaitu nilai SAIFI 4,0116 kali/tahun, SAIDI 12,111 jam/tahun, CAIDI 3,018995 jam/tahun.

Pada Gambar 4.19, 4.20, dan 4.21 berikut ditunjukkan grafik untuk kondisi dengan 16 sectionalizer yang memberikan nilai indeks keandalan terbaik pada kondisi grid – mikrohidro.

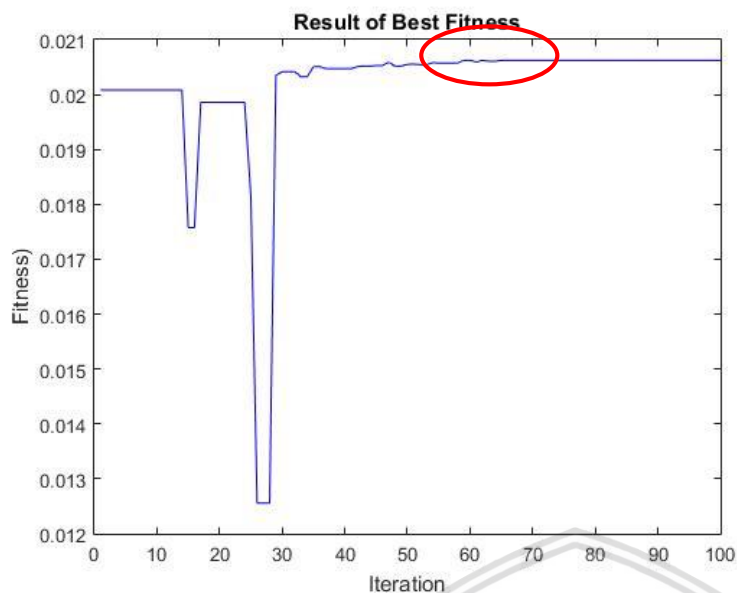


Gambar 4.19 Hasil Best SAIFI Kondisi Grid – Wind Turbine - Mikrohidro dengan  $Rho$  0,1



Gambar 4.20 Hasil Best SAIDI Kondisi Grid – Wind Turbine - Mikrohidro dengan  $Rho$  0,1





Gambar 4.21 Hasil *Best Fitness* Kondisi Grid – *Wind Turbine* - Mikrohidro dengan *Rho* 0,1

Pada Gambar 4.19 grafik *best SAIFI* dengan *rho* 0,1 menunjukkan bahwa hasil model relokasi *sectionalizer* cukup baik karena adanya penurunan nilai SAIFI yang ditunjukkan dengan grafik yang semakin menurun, dimana nilai SAIFI sudah mencapai konvergen dalam iterasi kurang dari 70.

Pada Gambar 4.20 grafik *best SAIDI* dengan *rho* 0,1 juga menunjukkan bahwa hasil model relokasi *sectionalizer* cukup baik yang diikuti dengan adanya penurunan nilai SAIDI yang ditunjukkan dengan grafik yang semakin menurun, dimana nilai SAIDI sudah mencapai konvergen dalam iterasi kurang dari 70.

Pada Gambar 4.21 grafik *best fitness* dengan *rho* 0,1 menunjukkan bahwa hasil relokasi cukup baik ditunjukkan dengan adanya kenaikan grafik dimana fungsi *fitness* itu sendiri yaitu  $fitness = \frac{1}{SAIFI * SAIDI}$ . Dengan menurunnya nilai SAIFI dan SAIDI maka akan didapatkan grafik *fitness* yang semakin naik untuk mencapai konvergen dengan iterasi kurang dari 70.

Dari hasil percobaan didapatkan nilai yang bervariasi dikarenakan sistem optimasi menggunakan algoritma ACO yang membangkitkan bilangan random namun masih menampilkan posisi relokasi yang relatif sama untuk setiap percobaan. Dari hasil setiap kondisi diatas menunjukkan bertambahnya jumlah *sectionalizer* mempengaruhi nilai indeks keandalan pada penyulang Pujon. Akan tetapi perubahan indeks keandalan SAIFI, SAIDI, dan CAIDI tidak signifikan. Hasil percobaan keseluruhan kondisi didapatkan indeks keandalan tertinggi adalah kondisi grid – *wind turbine* – mikrohidro dengan *rho* 0,1 dengan

nilai SAIFI sebesar 4,0093 kali/tahun dan nilai SAIDI sebesar 12,0887 jam/tahun. Oleh karena itu bahwa semakin kecilnya nilai parameter rho maka akan semakin kecil nilai SAIFI dan SAIDI nya. Nilai rho mengacu pada cepat atau lambatnya feromon menguap pada jalur selain jalur yang terbaik. Semakin kecil nilai  $\rho$  (semakin mendekati 0), maka semakin lambat feromon menguap pada jalur yang dilewati semut. Hal ini membuat semut mempunyai kesempatan untuk mencari jalur-jalur lainnya dengan kemungkinan jalur yang terbaik. Selain itu, hal ini juga berpengaruh pada proses perhitungan yang lebih lama untuk mencapai konvergen.

#### 4.8 Perbandingan Relokasi *Sectionalizer* Menggunakan *Ant Colony Optimization* dengan *Simulated Annealing Method*

Hasil percobaan didapatkan hasil terbaik dengan *sectionalizer* sebanyak 16 dengan parameter  $\rho$  sebesar  $1e^{-3}$  untuk metode *Simulated Annealing* dan  $\rho$  sebesar 0,1 untuk metode *Ant Colony Optimization*. Kemudian dilakukan sepuluh kali percobaan untuk masing-masing metode dengan tiga skenario grid – *wind turbine*, grid – mikrohidro, grid – *wind turbine* – mikrohidro dengan parameter terbaik yang ditunjukkan pada Tabel 4.35, Tabel 4.36, dan Tabel 4.37.

Tabel 4.35  
Skenario Percobaan Kondisi Grid – *Wind Turbine*

Percobaan	<i>Simulated Annealing Method</i> (SA)			<i>Ant Colony Optimization</i> (ACO)		
	<i>Best SAIFI</i> (kali/tahun)	<i>Best SAIDI</i> (jam/tahun)	<i>CAIDI</i> (jam/tahun)	<i>Best SAIFI</i> (kali/ tahun)	<i>Best SAIDI</i> (jam/tahun)	<i>CAIDI</i> (jam/tahun)
1	4,0279	12,2137	3,032275	4,0147	12,0826	3,00959
2	4,026	12,1949	3,029036	4,0138	12,073	3,007873
3	4,0276	12,2115	3,031955	4,015	12,0853	3,010037
4	4,0261	12,1957	3,02916	4,0147	12,0818	3,00939
5	4,0286	12,2208	3,03351	4,0159	12,0938	3,011479
6	4,0251	12,186	3,027502	4,0156	12,0908	3,010957
7	4,0274	12,2087	3,03141	4,0165	12,0997	3,012498
8	4,0247	12,1821	3,026834	4,0169	12,1043	3,013344
9	4,0253	12,2877	3,052617	4,0145	12,08	3,009092
10	4,0284	12,2195	3,033338	4,0144	12,0795	3,009042



Tabel 4.36  
Skenario Percobaan Kondisi Grid – Mikrohidro

Percobaan	<i>Simulated Annealing Method (SA)</i>			<i>Ant Colony Optimization (ACO)</i>		
	<i>Best SAIFI (kali/tahun)</i>	<i>Best SAIDI (jam/tahun)</i>	<i>CAIDI (jam/tahun)</i>	<i>Best SAIFI (kali/tahun)</i>	<i>Best SAIDI (jam/tahun)</i>	<i>CAIDI (jam/tahun)</i>
1	4,0338	12,2444	3,03545	4,0205	12,1112	3,012362
2	4,0342	12,248	3,036042	4,0214	12,1201	3,013901
3	4,032	12,2264	3,032341	4,0216	12,1226	3,014372
4	4,0351	12,2579	3,037818	4,0217	12,1236	3,014546
5	4,0383	12,2894	3,043211	4,0214	12,1199	3,013851
6	4,0349	12,2557	3,037423	4,021	12,1166	3,01333
7	4,0316	12,2227	3,031724	4,0206	12,1119	3,012461
8	4,0349	12,2554	3,037349	4,0202	12,1085	3,011915
9	4,0342	12,248	3,036042	4,0194	12,1002	3,010449
10	4,0317	12,2236	3,031872	4,0209	12,1158	3,013206

Tabel 4.37  
Skenario Percobaan Kondisi Grid – Wind Turbine – Mikrohidro

Percobaan	<i>Simulated Annealing Method (SA)</i>			<i>Ant Colony Optimization (ACO)</i>		
	<i>Best SAIFI (kali/tahun)</i>	<i>Best SAIDI (jam/tahun)</i>	<i>CAIDI (jam/tahun)</i>	<i>Best SAIFI (kali/tahun)</i>	<i>Best SAIDI (jam/tahun)</i>	<i>CAIDI (jam/tahun)</i>
1	4,0243	12,2383	3,0411	4,0076	12,071	3,012027
2	4,0219	12,214	3,036873	4,0088	12,0838	3,014318
3	4,022	12,2151	3,037071	4,0082	12,0071	2,995634
4	4,0208	12,2034	3,035068	4,0097	12,0927	3,015862
5	4,0261	12,256	3,044137	4,0082	12,0778	3,013273
6	4,0217	12,2123	3,036601	4,0085	12,0802	3,013646
7	4,0227	12,2215	3,038134	4,0093	12,0879	3,014965
8	4,0237	12,2321	3,040013	4,0096	12,0913	3,015588
9	4,0232	12,2272	3,039173	4,0093	12,088	3,01499
10	4,0206	12,2016	3,034771	4,0103	12,0987	3,016906

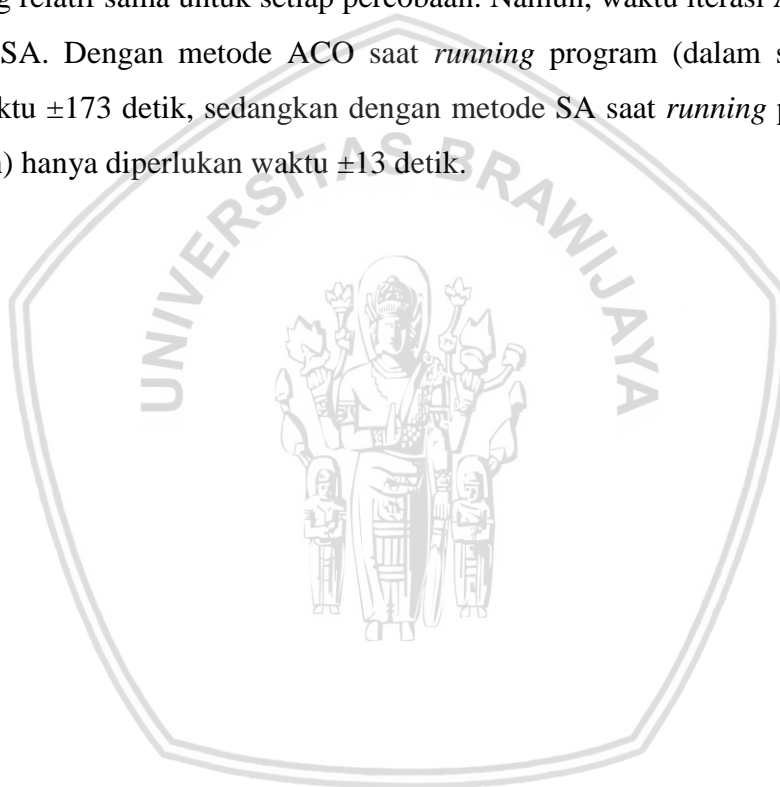
Dari Tabel 4.35, Tabel 4.36, dan Tabel 4.37 ditunjukkan hasil percobaan sepuluh kali *running* bahwa relokasi *sectionalizer* yang lebih baik menggunakan metode ACO dibandingkan metode SA. Hal ini ditunjukkan dari nilai indeks keandalan (SAIFI, SAIDI, dan CAIDI) skenario grid – *wind turbine* dengan metode ACO yaitu 4,0138 kali/tahun, 12,073 jam/tahun, dan 3,007873 jam/tahun dibandingkan metode SA yaitu 4,0247 kali/tahun, 12,1821 jam/tahun, dan 3,026834 jam/tahun. Indeks keandalan (SAIFI, SAIDI,





dan CAIDI) skenario grid – mikrohidro dengan metode ACO yaitu 4,0194 kali/tahun, 12,1002 jam/tahun, dan 3,010449 jam/tahun dibandingkan metode SA yaitu 4,0316 kali/tahun, 12,2227 jam/tahun, dan 3,031724 jam/tahun. Indeks keandalan (SAIFI, SAIDI, dan CAIDI) skenario grid – *wind turbine* – mikrohidro dengan metode ACO yaitu 4,0076 kali/tahun, 12,071 jam/tahun, dan 3,012027 jam/tahun dibandingkan metode SA yaitu 4,0206 kali/tahun, 12,2016 jam/tahun, dan 3,034771 jam/tahun.

Berdasarkan grafik yang ditunjukkan dan nilai SAIFI, SAIDI dan CAIDI yang dihasilkan maka didapatkan pula bahwa nilai indeks keandalan yang lebih baik menggunakan metode ACO dimana nilai SAIFI, SAIDI, dan CAIDI nya lebih kecil dengan lokasi bus yang relatif sama untuk setiap percobaan. Namun, waktu iterasi ACO lebih lama dibandingkan SA. Dengan metode ACO saat *running* program (dalam satu percobaan) diperlukan waktu  $\pm 173$  detik, sedangkan dengan metode SA saat *running* program (dalam satu percobaan) hanya diperlukan waktu  $\pm 13$  detik.





## BAB V

### PENUTUP

#### 5.1 Kesimpulan

Berdasarkan analisis dan hasil yang diperoleh dari simulasi perbandingan relokasi *sectionalizer* dengan ACO dan SA maka dapat disimpulkan:

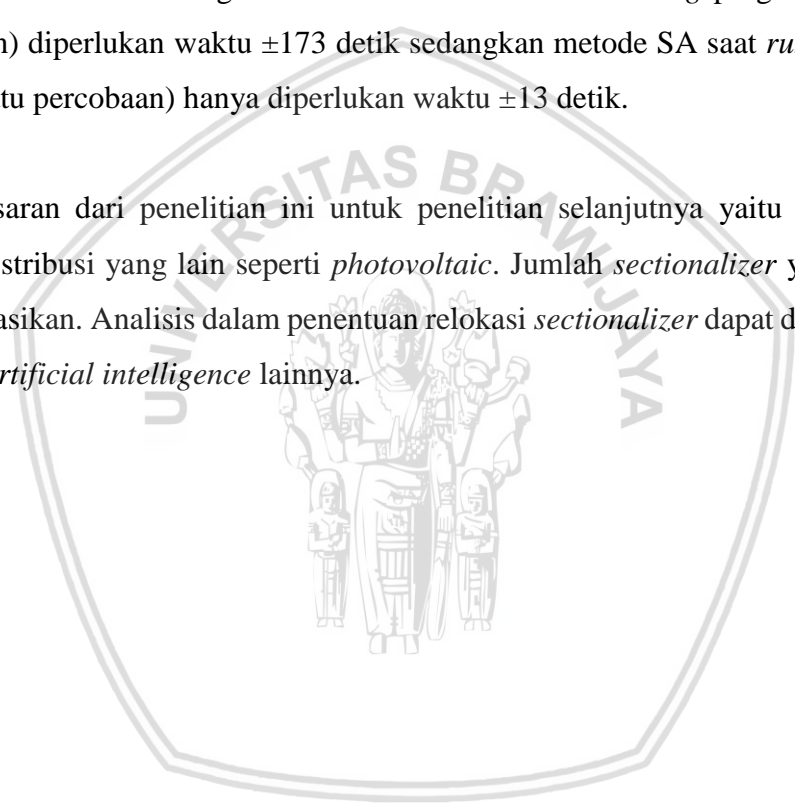
1. Besarnya indeks keandalan kondisi eksisting yaitu nilai SAIFI sebesar 7,1697 kali/tahun, nilai SAIDI 22,2411 jam/tahun, dan CAIDI 3,1021jam/tahun
2. Besarnya indeks keandalan kondisi penambahan pembangkit sebelum relokasi pada masing-masing skenario. Skenario grid – *wind turbine* yaitu nilai SAIFI sebesar 7,0788 kali/tahun, nilai SAIDI 21,9508 jam/tahun, dan CAIDI 3,0387 jam/tahun. Skenario grid – mikrohidro yaitu nilai SAIFI sebesar 7,1321 kali/tahun, nilai SAIDI 22,1228 jam/tahun, dan CAIDI 3,0389 jam/tahun. Skenario grid – *wind turbine* – mikrohidro yaitu nilai SAIFI sebesar 7,1154 kali/tahun, nilai SAIDI 22,0657 jam/tahun, dan CAIDI 3,031 jam/tahun.
3. Besarnya indeks keandalan kondisi penambahan pembangkit setelah relokasi pada masing-masing skenario menggunakan metode *Simulated Annealing* dengan *enorm*  $1e^{-3}$ . Skenario grid – *wind turbine* yaitu nilai SAIFI sebesar 4,0264 kali/tahun, nilai SAIDI 12,208 jam/tahun, dan CAIDI 3,03198 jam/tahun. Skenario grid – mikrohidro yaitu nilai SAIFI sebesar 4,0255 kali/tahun, nilai SAIDI 12,211 jam/tahun, dan CAIDI 3,0357 jam/tahun. Skenario grid – *wind turbine* – mikrohidro yaitu nilai SAIFI sebesar 4,0224 kali/tahun, nilai SAIDI 12,219 jam/tahun, dan CAIDI 3,03774 jam/tahun.
4. Besarnya indeks keandalan kondisi penambahan pembangkit setelah relokasi pada masing-masing skenario menggunakan metode *Ant Colony Optimization* dengan laju penguapan (*rho*) 0,1. Skenario grid – *wind turbine* yaitu nilai SAIFI sebesar 4,0136 kali/tahun, nilai SAIDI 12,2071 jam/tahun, dan CAIDI 3,04143 jam/tahun. Skenario grid – mikrohidro yaitu nilai SAIFI sebesar 4,0241 kali/tahun, nilai SAIDI 12,2019 jam/tahun, dan CAIDI 3,03221 jam/tahun. Skenario grid – *wind turbine* –

mikrohidro yaitu nilai SAIFI sebesar 4,0173 kali/tahun, nilai SAIDI 12,1248 jam/tahun, dan CAIDI 3,10815 jam/tahun.

5. Perbandingan relokasi *sectionalizer* yang lebih baik menggunakan metode ACO dibandingkan metode SA. Dengan metode ACO nilai indeks keandalan untuk ketiga skenario lebih andal (nilai SAIFI, SAIDI, dan CAIDI lebih kecil) dibandingkan menggunakan metode SA. Lokasi *sectionalizer* dengan metode ACO untuk setiap percobaan relatif sama dibandingkan metode SA yang lebih acak. Namun, waktu iterasi ACO lebih lama dibandingkan SA. Metode ACO saat *running* program (dalam satu percobaan) diperlukan waktu  $\pm 173$  detik sedangkan metode SA saat *running* program (dalam satu percobaan) hanya diperlukan waktu  $\pm 13$  detik.

## 5.2 Saran

Adapun saran dari penelitian ini untuk penelitian selanjutnya yaitu menambahkan pembangkit terdistribusi yang lain seperti *photovoltaic*. Jumlah *sectionalizer* yang direlokasi juga dapat divariasikan. Analisis dalam penentuan relokasi *sectionalizer* dapat dikombinasikan dengan metode *artificial intelligence* lainnya.



**DAFTAR PUSTAKA**

- Adiatma, S. K. 2015. *Analisis Pengaruh Penyambungan Distributed Generation Pada Rugi-rugi Daya Saluran Distribusi*. Malang: Universitas Brawijaya
- Badan Litbang ESDM. 2012. *Energi Angin*. Jakarta Selatan: Kementrian ESDM.
- Badruddin. 2013. *Modul II Sistem Distribusi*. Jakarta: Pusat Pengembangan Bahan Ajar Universitas Mercu Buana.
- Bayram, H., & Sahin, R. 2013. A New Simulated Annealing Approach for Travelling Salesman Problem. *Mathematical and Computational Applications*, 18(3), 313–322
- Bayu, A. 2017. *Optimasi Penempatan Recloser pada Sistem Distribusi Jaringan Radial Penyulang PDP-03 Menggunakan Ant Colony Optimization (ACO)*. Semarang: Universitas Diponegoro
- Bollen, Math & Fainan Hassan. 2011. *Integration of Distributed Generation in The Power System*. Canada: John Willey & Sons, Inc., Hoboken, New Jersey.
- Dhanara, A.R. 2017. *Optimasi Penempatan Recloser Pada Sistem Distribusi Jaringan Radial Penyulang SRL-06 Menggunakan Simulated Annealing Method*. Semarang: Universitas Diponegoro.
- Dhuha, Syamsu. 2017. *Kajian Peningkatan Keandalan Sistem Distribusi dengan Reloksai Sectionalizer pada Penyulang Pujon dengan Pembangkit Terdistribusi*. Malang: Universitas Brawijaya.
- Gonen, T. 1987. *Electrical Power Distribution System Engineering*. New York: Mc. Graw Hill Book Company.
- Örkcü, H. H. 2013. *Subset Selection in Multiple Linear Regression Models: A Hybrid of Genetic and Simulated Annealing Algorithms*. Applied Mathematics and Computation.
- PT. PLN. 1985. *SPLN 59 Keandalan Pada Sistem Distribusi 20kV dan 6kV*. Jakarta: Departemen Pertambangan dan Energi.
- PT. PLN Persero. 2012. *Statistik PLN 2011*. Jakarta: PT. PLN Persero
- Rones, A. S. 2013. *Adaptive Protection Scheme for Feeders with The Penetration of SEIG Based Wind Farm*. IEEE,978-1-4799-147-3.

- Salim, Mohammad A. 2016. *Studi Symphatetic Trip pada Penambahan Distributed Generation Penyulang Pujon di Transformator III GI Sengkaling*. Malang: Universitas Brawijaya.
- Sarimun, W. 2012. *Proteksi Sistem Distribusi Tenaga Listrik*. Depok: Garamond.
- Stevenson, Jr. William D. 1996. *Analisis Sistem Tenaga Listrik*. Cetakan kelima. Jakarta: Penerbit Erlangga.
- Stevenson, W.D. 1996. *Elements of Power System Analysis, 4th Edition*. Cetakan V. Terjemahan Kamal Idris. Jakarta: Erlangga.
- Suhadi & Tri Wrahatnolo. 2008. *Teknik Distribusi Tenaga Listrik Jilid 1*. Jakarta: Direktorat Pembinaan Sekolah Menengah Kejuruan.
- Suhadi & Tri Wrahatnolo. 2008. *Teknik Distribusi Tenaga Listrik Jilid 2*. Jakarta: Direktorat Pembinaan Sekolah Menengah Kejuruan.
- Suhadi & Tri Wrahatnolo. 2008. *Teknik Distribusi Tenaga Listrik Jilid 3*. Jakarta: Direktorat Pembinaan Sekolah Menengah Kejuruan.
- Sukerayasa et al, 2007. *Penentuan Angka Keluar Peralatan Untuk Evaluasi Keandalan Sistem Distribusi Tenaga Listrik*
- Sumardi. 2006. *Bahan Ajar Teknik Optimasi*. Semarang: Universitas Diponegoro.