

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

Spesifikasi Penyulang	
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.

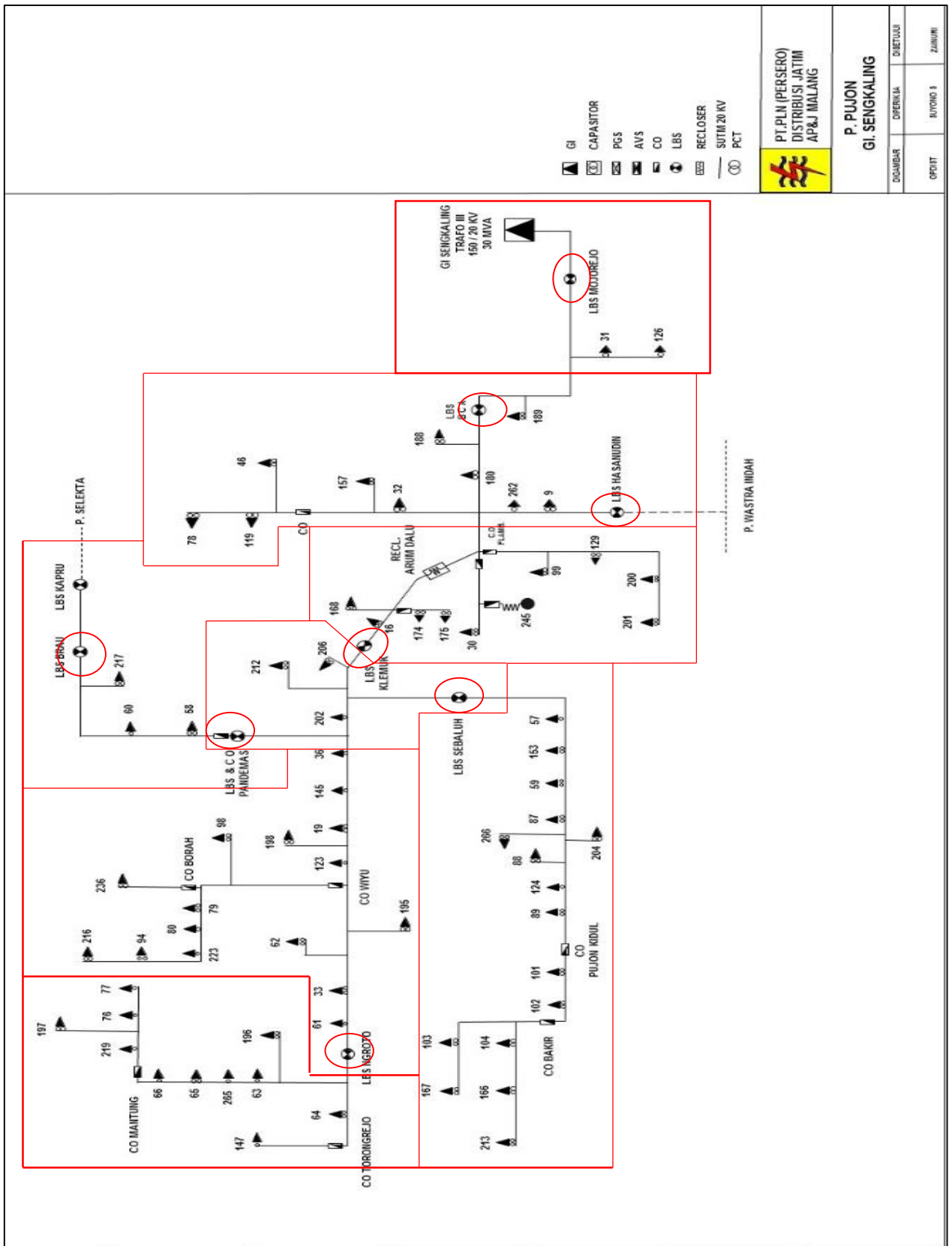
Tabel 4.2
Transformator 3 Penyulang Pujon Gardu Induk Sengkaling

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.



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*)

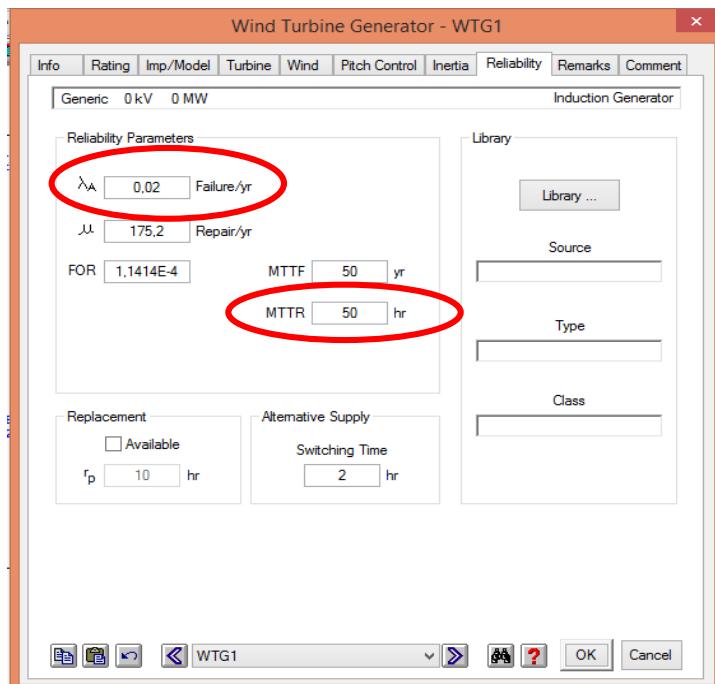
Pada penelitian ini menggunakan analisis penelitian sebelumnya yang dilakukan oleh mahasiswa Teknik Elektro Universitas Brawijaya. Pada penelitian sebelumnya telah didapat data kecepatan angin rata-rata setiap hari dalam kurun waktu 90 hari dan besar daya yang dapat dibangkitkan oleh angin. Generator 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)

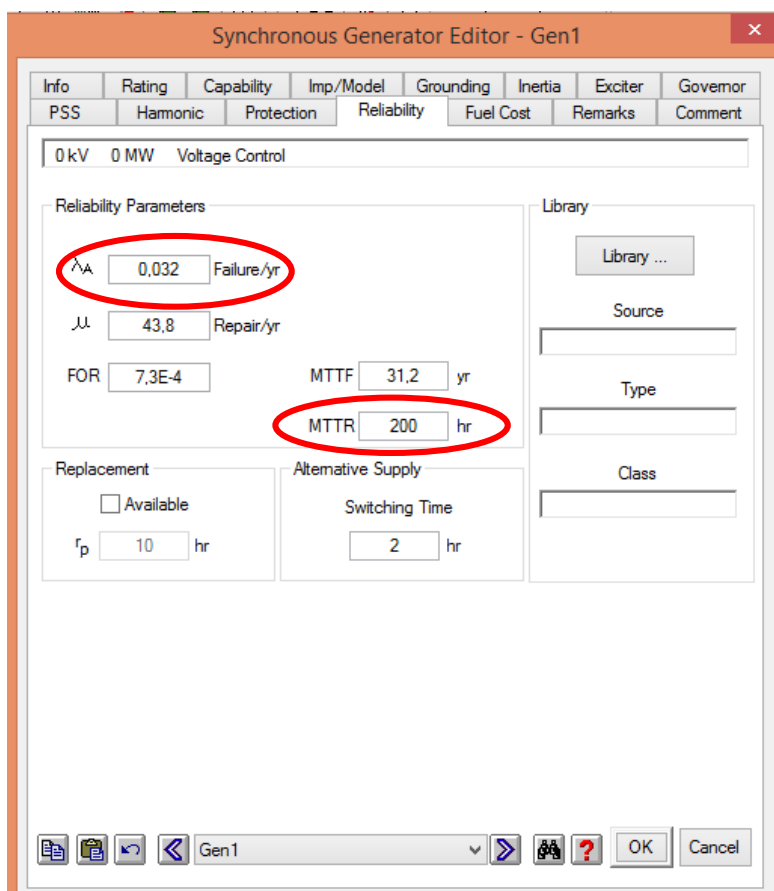
Pada penelitian ini menggunakan PLTMH yang berada di Desa Bendosari, Kecamatan Pujon, Kabupaten Malang, yang dibangun oleh Universitas Brawijaya. Pembangkit dihubungkan dengan penyulang Pujon pada bus 57. Tabel 4.5 berisi data spesifikasi pada PLTMH Bendosari.

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
Generator Sinkron (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 (%)
Eksisting	-	-	-
Grid – Wind Turbine	1,26784	1,305241	2,043777
Grid - Mikrohidro	0,524429	0,531898	2,03733
Grid – Wind Turbine – Mikrohidro	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
<i>Simulated Annealing</i>	<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 Pujan.

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*

	Enorm	Best Solution (Lokasi Bus)	SAIFI (kali/ tahun)	SAIDI (jam/ tahun)	CAIDI (jam/ tahun)	Fitness
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

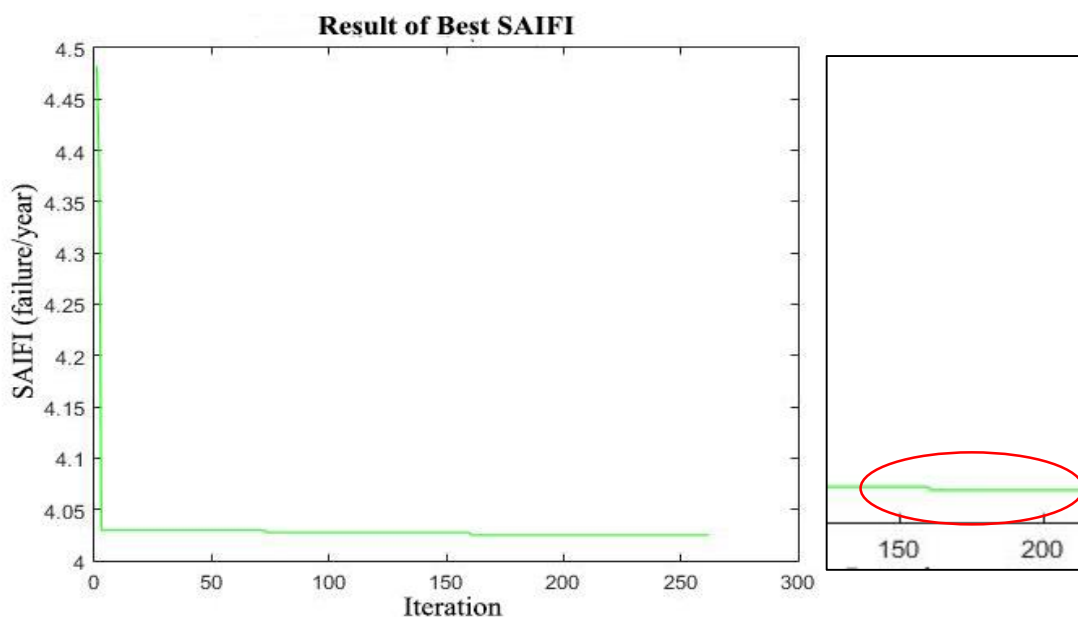
percobaan ketiga yaitu nilai SAIFI 4,0278 kali/tahun, SAIDI 12,2222 jam/tahun, CAIDI 3,03446 jam/tahun.

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

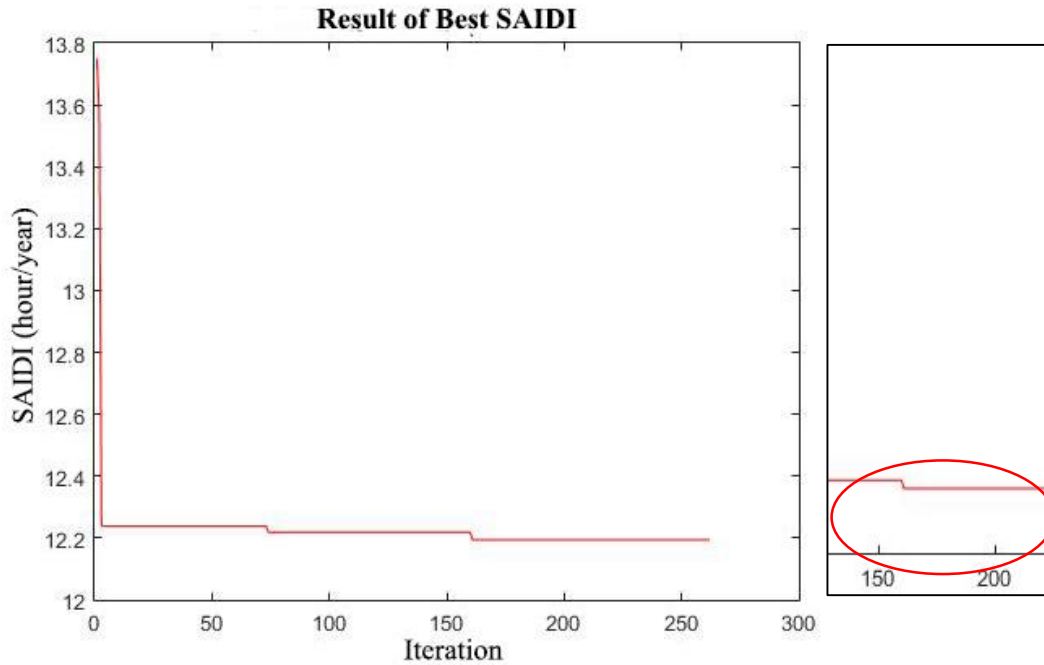
	Enorm	Best Solution (Lokasi Bus)	SAIFI (kali/ tahun)	SAIDI (jam/ tahun)	CAIDI (jam/ tahun)	Fitness
1	$1e^{-2}$	3, 12, 20, 27, 28, 29, 33, 34, 52, 64, 66, 78, 79, 106, 108, 109	4,0275	12,219	3,033892	0,02032
2		2, 7, 21, 40, 42, 43, 45, 48, 52, 77, 80, 93, 96, 99, 117, 118	4,0271	12,2148	3,03315	0,020329
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.

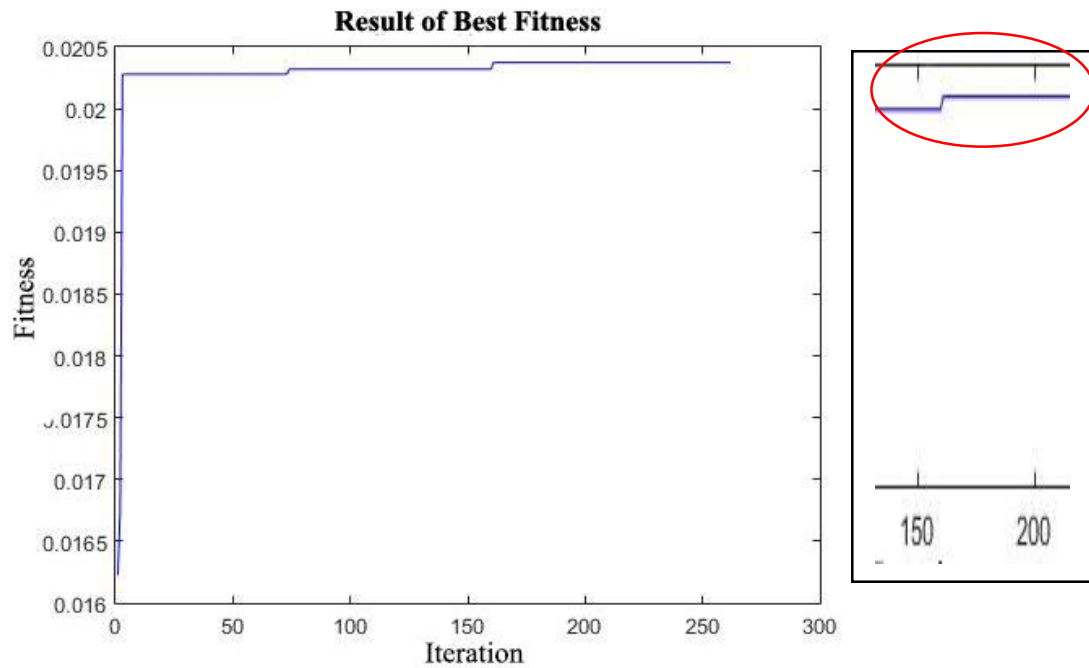
Pada Gambar 4.4, Gambar 4.5 dan Gambar 4.6 berikut ditunjukkan grafik untuk kondisi dengan 16 *sectionalizer* yang memberikan nilai indeks keandalan terbaik pada kondisi grid – *wind turbine*.



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*

	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	4,0321	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*

	Enorm	Best Solution	SAIFI	SAIDI	CAIDI	Fitness
--	--------------	----------------------	--------------	--------------	--------------	----------------

		(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*

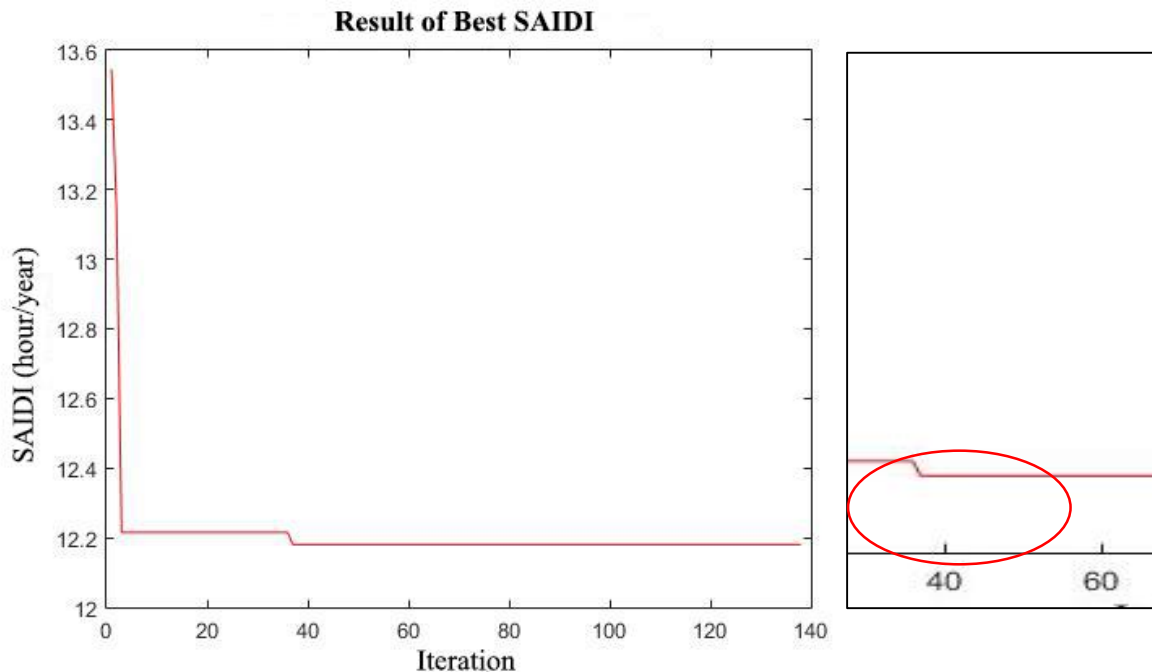
	Enorm	Best Solution (Lokasi Bus)	SAIFI (kali/ tahun)	SAIDI (jam/ tahun)	CAIDI (jam/ tahun)	Fitness
1	$1e^{-2}$	10, 35, 43, 57, 69, 74, 78, 82, 83, 85, 104, 104, 105, 117, 118, 118	4,0278	12,2336	3,037291	0,020294

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

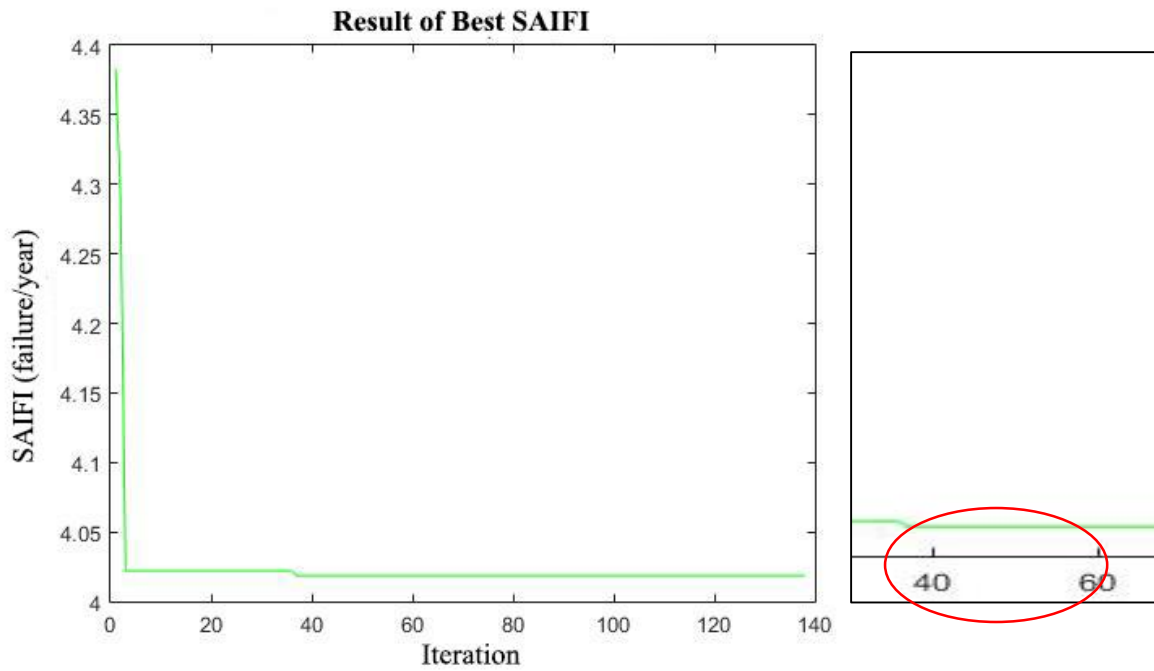
	Enorm	Best Solution (Lokasi Bus)	SAIFI (kali/tahun)	SAIDI (jam/tahun)	CAIDI (jam/tahun)	Fitness
1	$1e^{-3}$	8, 20, 21, 28, 33, 35, 44, 56, 57, 84, 91, 103, 105, 111, 113, 115	4,0255	12,2106	3,033313	0,020344
2		2, 16, 33, 51, 55, 57, 62, 64, 79, 97, 100, 118, 118	4,0279	12,2353	3,037637	0,020291
3		9,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

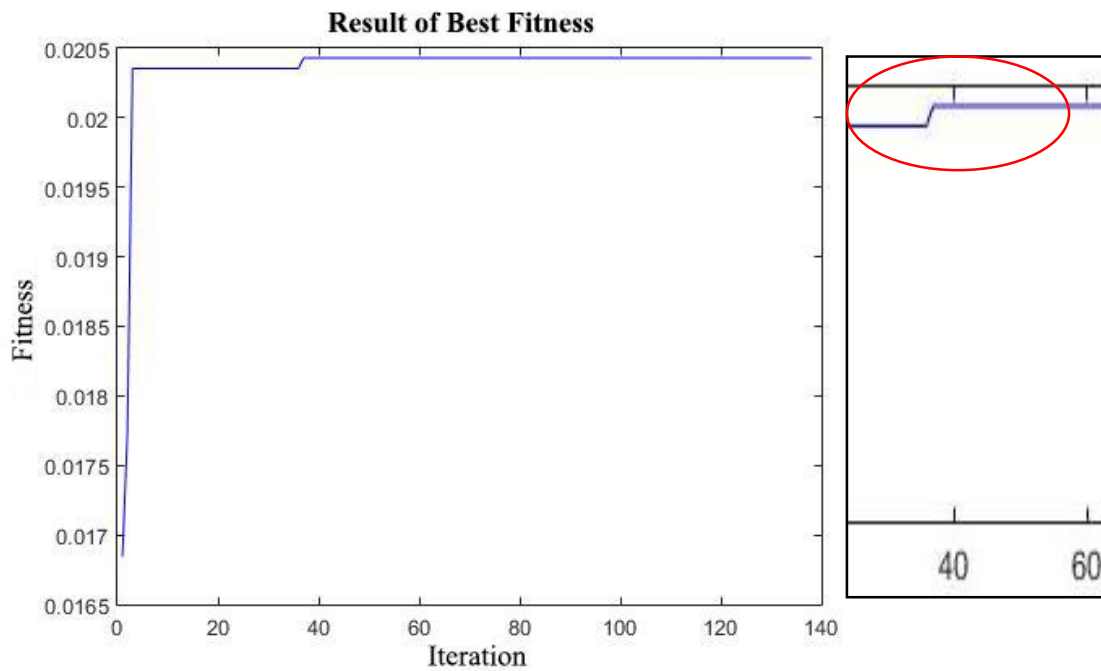
Pada Gambar 4.7, 4.8, dan 4.9 berikut ditunjukkan grafik untuk kondisi dengan 16 *sectionalizer* yang memberikan nilai indeks keandalan terbaik pada kondisi grid – mikrohidro.



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.

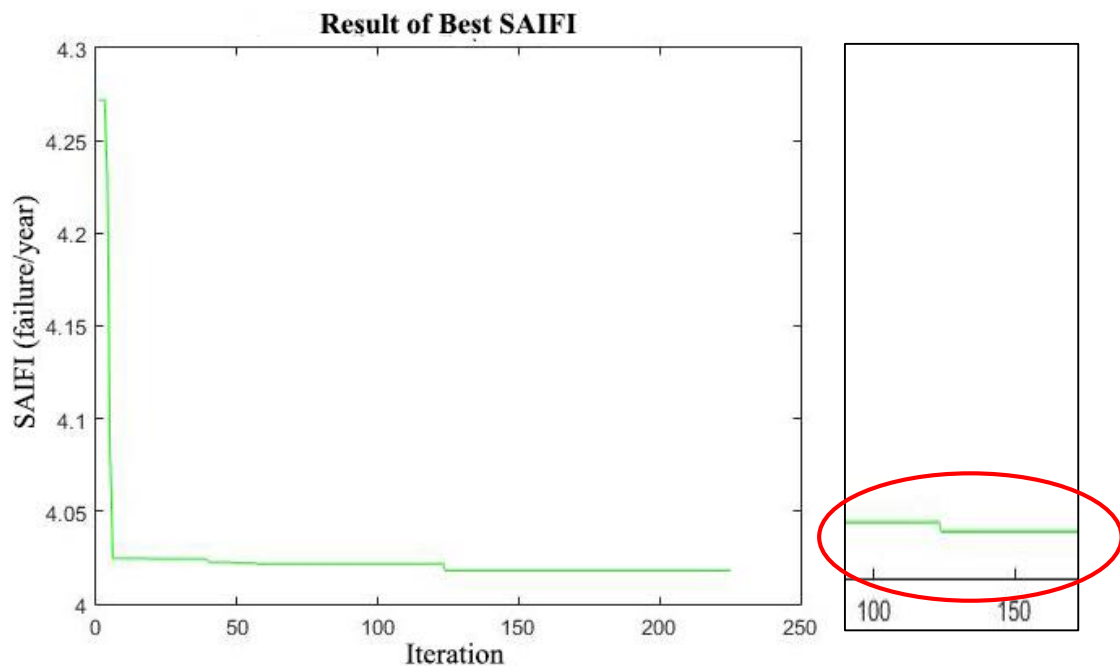
Tabel 4.21

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

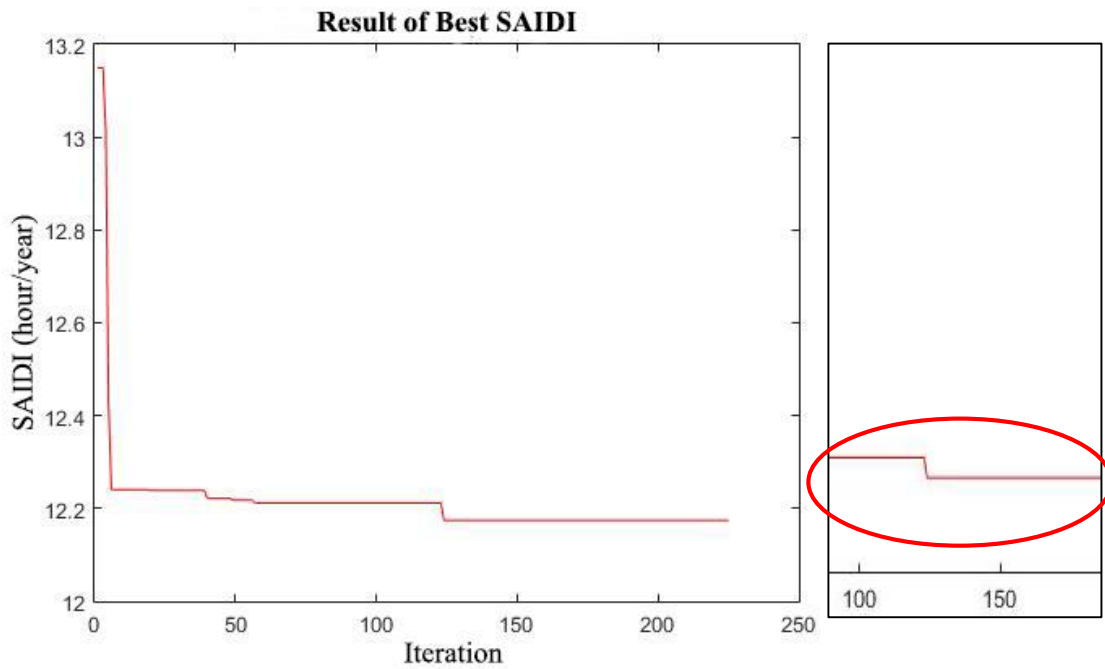
	Enorm	Best Solution (Lokasi Bus)	SAIFI (kali/ tahun)	SAIDI (jam/ tahun)	CAIDI (jam/ tahun)	Fitness
1	$1e^{-2}$	3, 12, 16, 31, 33, 49, 59, 60, 78, 78, 83, 86, 86, 99, 111, 114, 118	4,0208	12,2029	3,034943	0,020381
2		3, 8, 9, 16, 27, 42, 44, 47, 47, 68, 68, 78, 88, 89, 90, 118	4,0185	12,1804	3,031081	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.

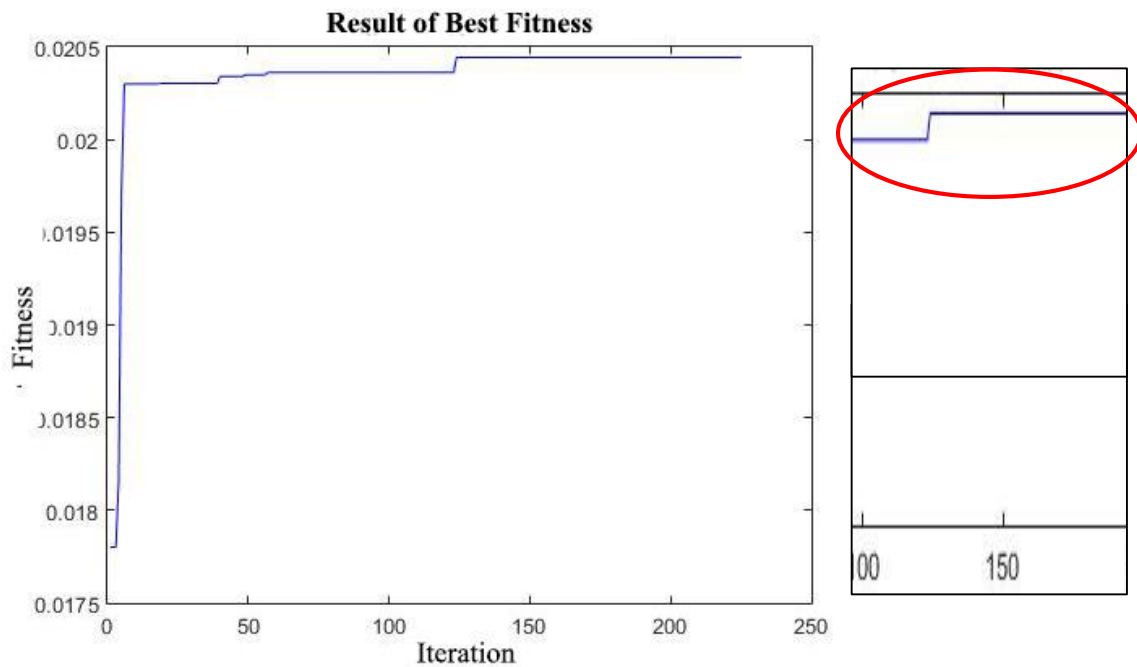
Pada Gambar 4.10, 4.11, dan 4.12 berikut ditunjukkan grafik untuk kondisi dengan 16 *sectionalizer* yang memberikan nilai indeks keandalan terbaik pada kondisi grid – mikrohidro.



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

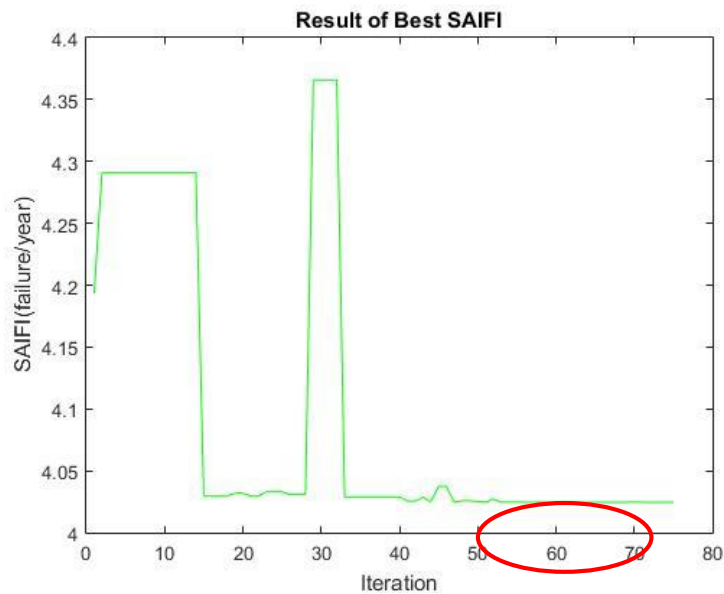
Skenario Percobaan Kondisi Grid – *Wind Turbine* dengan 16 *Sectionalizer*

	<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

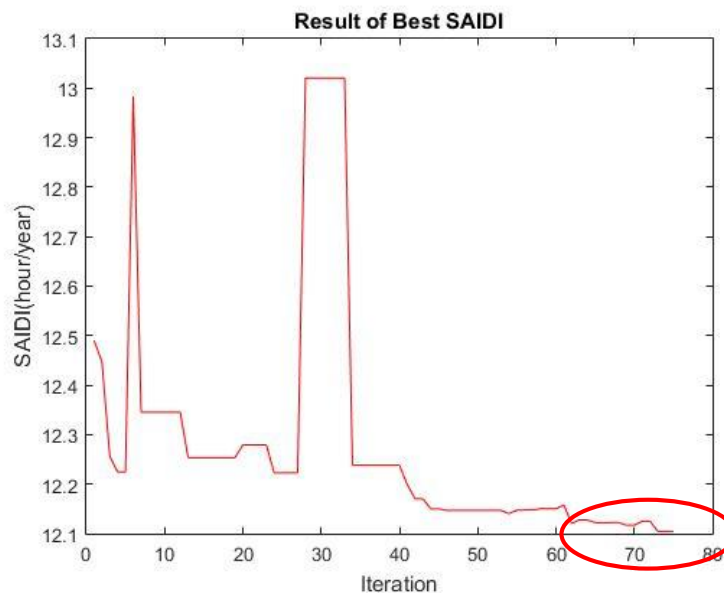
Pada Tabel 4.26 hasil terbaik kondisi grid – *wind turbine* dengan 16 *sectionalizer* untuk *rho* 0,1 terletak pada percobaan kedua yaitu nilai SAIFI 4,0136 kali/tahun, SAIDI 12,071 jam/tahun, CAIDI 3,007524 jam/tahun. Sedangkan untuk *rho* 0,3 terletak pada percobaan

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

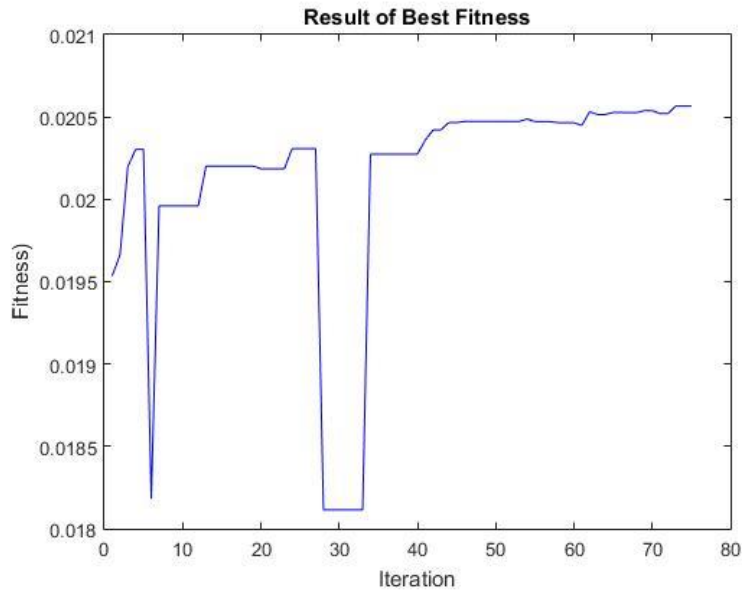
Pada Gambar 4.13, 4.14, dan 4.15 berikut ditunjukkan grafik untuk kondisi dengan 16 sectionalizer yang memberikan nilai indeks keandalan terbaik pada kondisi grid – mikrohidro.



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.

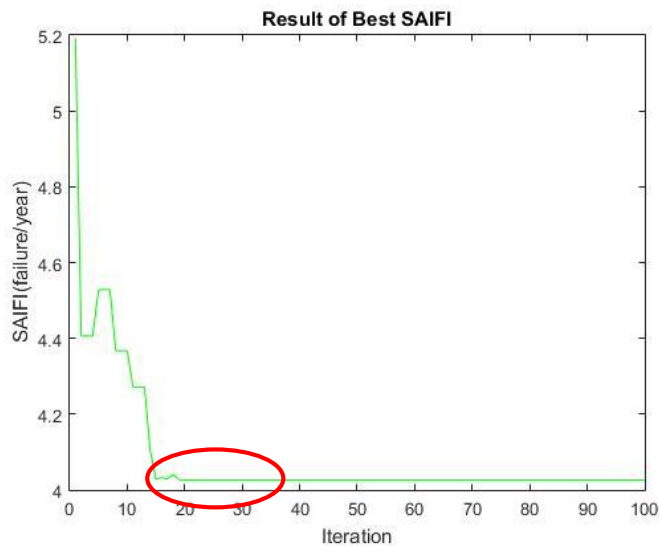
Tabel 4.30

Skenario Percobaan Kondisi Grid – Mikrohidro dengan 16 *Sectionalizer*

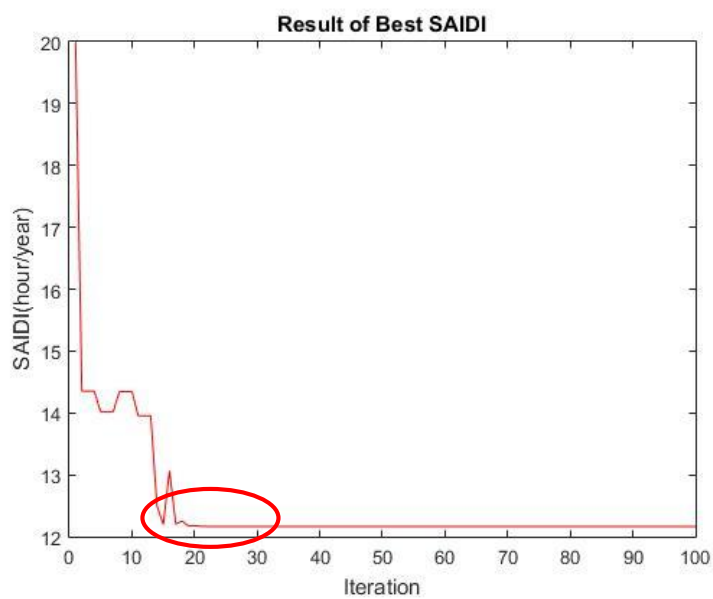
	<i>Rho</i>	<i>Best Solution</i> (Lokasi Bus)	SAIFI (kali/ tahun)	SAIDI (jam/ tahun)	CAIDI (jam/ tahun)	<i>Fitness</i>
1	0,1	3, 7, 9, 12, 33, 34, 35, 40, 42, 43, 44, 77, 78, 80	4,0196	12,102	3,010747	0,332143
2		3, 7, 8, 9, 12, 33, 35, 43, 41, 45, 47, 57, 76, 77, 79, 80	4,0208	12,1148	3,013032	0,331892
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.

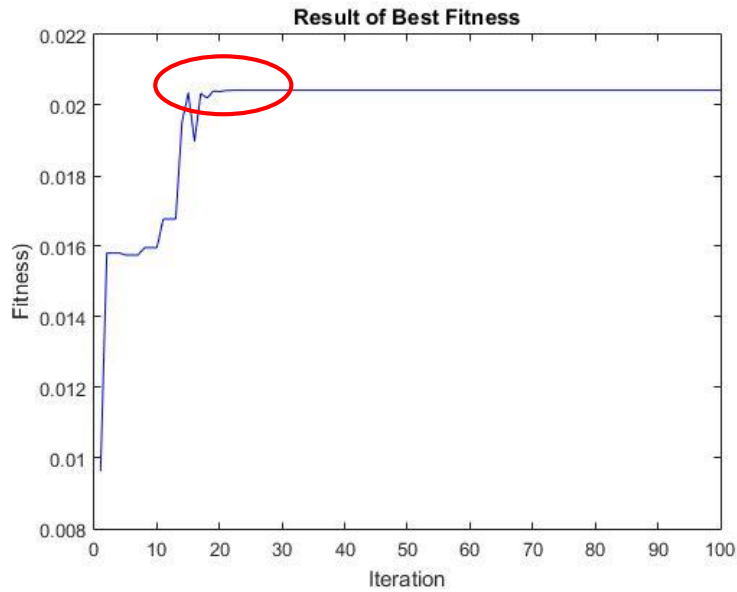
Pada Gambar 4.16, 4.17, dan 4.18 berikut ditunjukkan grafik untuk kondisi dengan 16 sectionalizer yang memberikan nilai indeks keandalan terbaik pada kondisi grid – mikrohidro.



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
	Rho	Best Solution (Lokasi Bus)	SAIFI (kali/tahun)	SAIDI (jam/tahun)	CAIDI (jam/tahun)	Fitness
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.

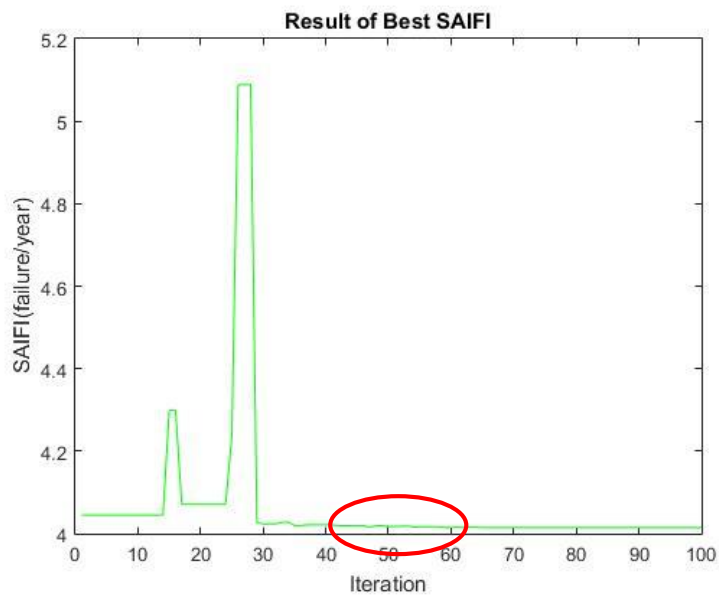
Tabel 4.34

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

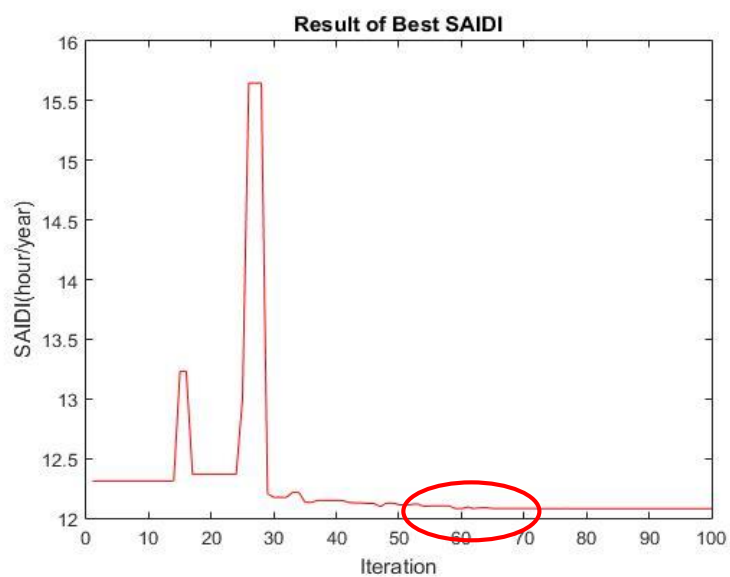
	Rho	Best Solution (Lokasi Bus)	SAIFI (kali/tahun)	SAIDI (jam/tahun)	CAIDI (jam/tahun)	Fitness
1	0,1	3, 7, 8, 9, 12, 34, 41, 42, 57, 68, 76, 77, 78, 79, 82, 96	4,0093	12,0887	3,015165	0,331657
2		3, 7, 8, 9, 33, 34, 35, 40, 42, 57, 76, 79, 80, 82, 100, 107	4,0098	12,0931	3,015886	0,331244
3		3, 7, 8, 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.

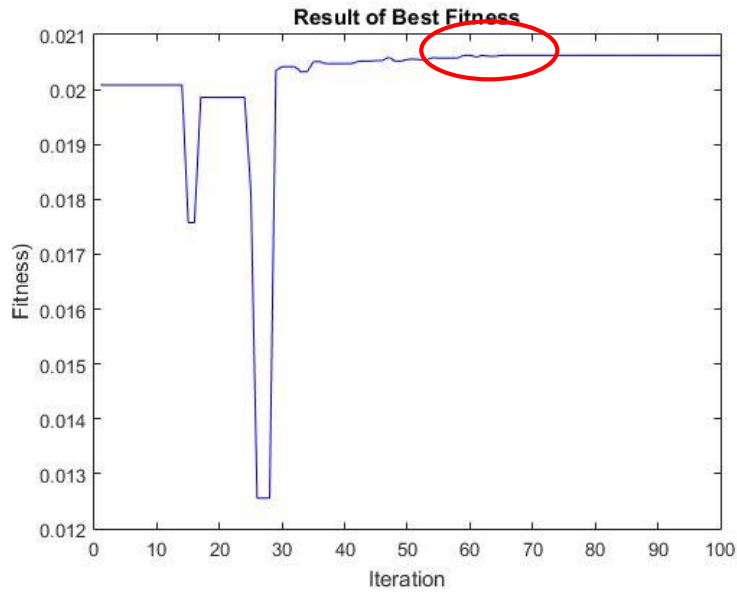
Pada Gambar 4.19, 4.20, dan 4.21 berikut ditunjukkan grafik untuk kondisi dengan 16 sectionalizer yang memberikan nilai indeks keandalan terbaik pada kondisi grid – mikrohidro.



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 paramater *enorm* 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</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	4,0338	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</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	4,0243	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 ± 173 detik, sedangkan dengan metode SA saat *running* program (dalam satu percobaan) hanya diperlukan waktu ± 13 detik.

