

Optimisasi Penempatan *Recloser* dan *Sectionalizer* untuk Memperbaiki Keandalan Jaringan pada Penyulang WNI10 Menggunakan Simulasi *Reliability Assessment*

Muhammad Andika Pratama^{1*}, Yulianus Wahyu Setiyono¹, Alvin Harista Rahman¹

¹Departemen Teknik Elektro dan Informatika, Universitas Gadjah Mada; y.wahyosetiyono@ugm.ac.id; alvin.harista.rahman@mail.ugm.ac.id

*Korespondensi: m.andikap03@gmail.com

Abstract – Failures or interruptions in the electric power distribution network affect the disruption of service continuity and the amount of electrical energy that can be sold to electricity consumers. To measure the reliability of a distribution network, the System Reliability Index can be used, such as SAIDI (system average interruption duration index) and SAIFI (system average interruption frequency index) ratio. Determining the placement location of a protection device such as a recloser and sectionalizer affects the value of SAIDI/SAIFI. The case study for optimal recloser and sectionalizer placement for WNI10 feeder using reliability assessment, then compared those results at each location where recloser and sectionalizer is placed. In order to get SAIDI and SAIFI values, parameters such as data rate of failure (λ), time to repair (U), and number of customers (N) are needed. In addition, for network data, the total load of each section and the length of the section are required. The goal from the comparison is to find the smallest SAIDI/SAIFI value from the different reclosers and sectionalizer placement, with the result that it can increase the network reliability for the WNI10 feeder. After changing the position of the protection device, the Wonogiri 10 feeder index became 26.48 hours/year (SAIDI) and 8.73 outages/year (SAIFI).

Keywords – failure, recloser, sectionalizer, network reliability, reliability assesment simulation

Abstrak – Gangguan atau pemadaman pada jaringan distribusi tenaga listrik berpengaruh pada terganggunya kontinuitas pelayanan dan jumlah energi listrik yang dapat terjual ke konsumen tenaga listrik. Untuk mengukur keandalan suatu jaringan distribusi dapat digunakan indeks keandalan sistem salah satunya angka SAIDI (*system average interruption duration index*) dan SAIFI (*system average interruption frequency index*). Penentuan lokasi SAIDI penempatan alat proteksi seperti *recloser* dan *sectionalizer* memengaruhi nilai kedua indeks keandalan tersebut. Studi kasus penempatan *recloser* dan *sectionalizer* yang optimal pada penyulang WNI10 ini menggunakan metode *reliability assessment* kemudian dilakukan perbandingan nilai SAIDI/SAIFI dari hasil simulasi jaringan distribusi pada tiap perpindahan lokasi penempatan *recloser*. Untuk mendapatkan nilai SAIDI dan SAIFI diperlukan parameter berupa data *rate of failure* (λ), *time to repair* (U), dan jumlah pelanggan (N). Selain itu, untuk data jaringan diperlukan besar beban tiap *section* dan panjang *section*. Perbandingan nilai SAIDI/SAIFI akan dicari nilai terkecil pada tiap perubahan penempatan *recloser* dan *sectionalizer* tersebut sehingga dapat meningkatkan keandalan jaringan pada penyulang WNI10. Setelah perubahan posisi alat proteksi, indeks keandalan penyulang Wonogiri 10 menjadi sebesar 26,48 jam/tahun (SAIDI) dan 8,73 padam/tahun (SAIFI).

Kata kunci – gangguan, *recloser*, *sectionalizer*, keandalan jaringan, simulasi *reliability assesment*

I. PENDAHULUAN

Peningkatan kebutuhan tenaga listrik menuntut perusahaan penyedia sistem kelistrikan seperti PTPLN untuk terus melakukan evaluasi terkait kuantitas dan kualitas tenaga listrik. Segi kuantitas meliputi terpenuhinya kebutuhan energi listrik untuk seluruh konsumen, sedangkan segi kuantitas meliputi tingginya keandalan sistem penyaluran tenaga listrik baik pada transmisi maupun distribusi [1] [2]. Salah satu penyebab tidak terpenuhinya kedua aspek tersebut adalah dikarenakan faktor lingkungan seperti cuaca dan pepohonan. Jumlah ketersediaan energi listrik yang memadai tidak menjamin ketika proses distribusi akan terjadi pemadaman karena gangguan [3]. Penilaian kualitas distribusi tenaga listrik atau keandalan sistem distribusi digunakan beberapa parameter indeks keandalan antara lain SAIDI (*system average interruption duration index*), SAIFI (*system average interruption frequency index*), CAIDI (*customer average interruption duration index*), dan lain sebagainya [4] [5].

Gangguan hubung singkat merupakan gangguan yang paling sering terjadi dan paling berbahaya di antara gangguan yang sering terjadi pada sistem tenaga listrik. Gangguan hubung singkat dapat menyebabkan mengalirnya arus listrik yang bernilai besar pada penghantar sehingga dapat menimbulkan kerusakan pada komponen penyaluran tenaga listrik seperti penghantar, transformator, dan peralatan lainnya [6]. Dikarenakan bahayanya efek yang ditimbulkan dari gangguan hubung singkat, maka diperlukan alat yang dapat mengenali arus gangguan sehingga dapat melakukan proteksi terhadap jaringan listrik.

Peralatan proteksi yang umumnya digunakan pada sistem distribusi tenaga listrik antara lain PMT (*circuit breaker*), PBO (*recloser*), atau SSO (*sectionalizer*). Pemasangan PBO dan SSO pada penyulang dapat membantu meningkatkan indeks keandalan karena PBO dan SSO dapat mengurangi jumlah konsumen yang terdampak pemadaman dan mempercepat durasi gangguan [7] [8].

Penyulang Wonogiri 10 menyuplai sebanyak 40,4% energi listrik dari total enam penyulang pada sistem distribusi ULP Jatisrono, berdasarkan data akhir tahun 2022 [9]. Dikarenakan banyaknya jumlah konsumen yang disuplai melalui penyulang ini, kualitas pendistribusian tenaga listrik atau keandalan penyulang harus dioptimalkan. Salah satu cara melakukan pengoptimalan keandalan penyulang yaitu dengan melakukan optimisasi penempatan alat proteksi pada penyulang [10] [11]. Pada penelitian terkait [12] menyatakan bahwa penempatan *recloser* dan *sectionalizer* dapat dioptimisasi dengan *multi-objective particle swarm optimization* (MOPSO) untuk meminimalkan biaya pemadaman pelanggan dan meningkatkan keandalan sistem dengan investasi optimal. Pada penelitian ini, optimisasi penempatan *recloser* dan *sectionalizer* dilakukan dengan metode *reability assessment* dan pengaruhnya terhadap indeks keandalan nilai SAIDI/SAIFI pada penyulang WN10.

II. METODOLOGI

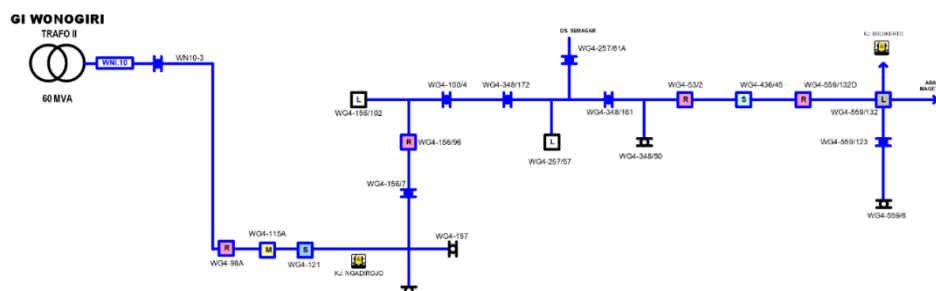
Metode penelitian ini menggunakan data pendukung komponen yang diukur dan dikumpulkan. Data diambil secara langsung (primer) dan dari sumber terkait (sekunder). Tahapan Penelitian dilakukan sejumlah beberapa kali bagian pengamatan yang dilakukan secara berurutan untuk menentukan hasil paling optimal.

A. Data Primer dan Data Sekunder

- 1) *Single Line Diagram ULP Jatisrono*: Diagram satu garis yang digunakan sebagai objek pengamatan pada penelitian ini adalah diagram satu garis untuk area ULP Jatisrono khususnya pada penyulang Wonogiri 10 yang ditampilkan pada Gambar 1.
- 2) *Data Jumlah Pelanggan*: Data total pelanggan yang diperlukan untuk pengamatan penelitian adalah total pelanggan pada penyulang Wonogiri 10 (WNI10). Penyulang WNI10 menyuplai 40,4% persen dari total pelanggan. Data total pelanggan diambil pada bulan Desember 2022 (Tabel 1).

Tabel 1. Jumlah pelanggan ULP Jatisrono

Penyulang	Jumlah Pelanggan
WNI10	59.867
Total Penyulang (6)	148.232



Gambar 1. Single line diagram penyulang WNI10

- 3) *Data Beban Penyulang*: Data beban pada WNI10 diukur pada tiap pangkal *section*. Pengukuran dilakukan dengan *Amp Stick* pada ketiga fase pada *switching* penyulang WNI10. Tabel 2 merupakan data beban penyulang WNI10.

Tabel 2. Data beban penyulang WNI10

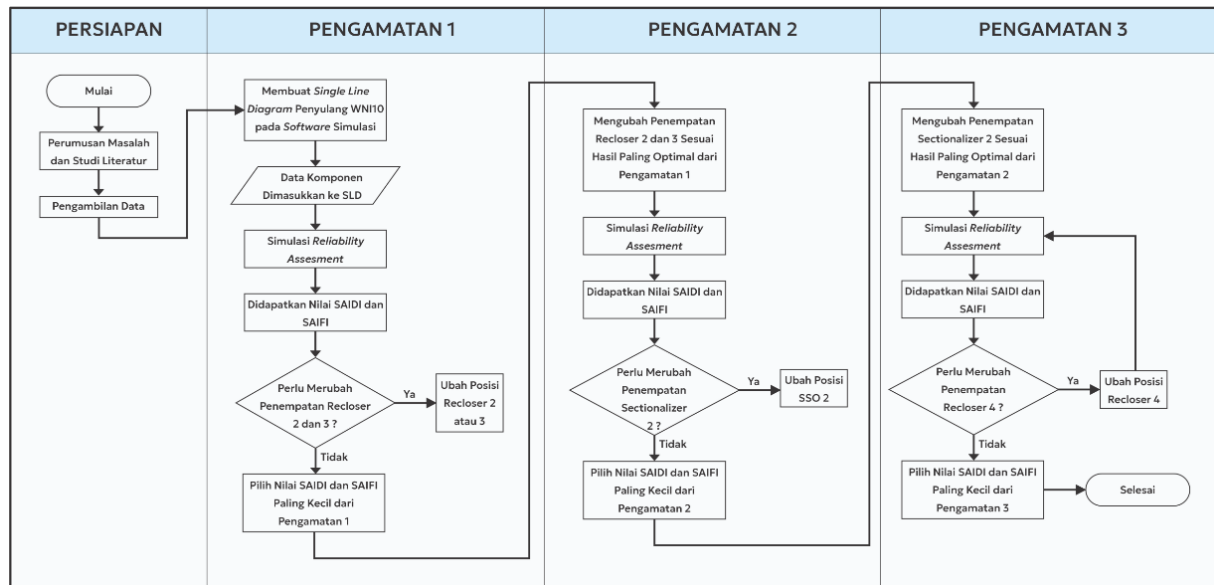
No. Tiang	Beban (A)			Peralatan
	R	S	T	
WG4-121	7	4	13	SSO
WG4-156/7	5	1	0	ABSW
WG4-156/96	18	20	7	Recloser
WG4-100/4	23	44	14	ABSW
WG4-348/172	3,4	8,2	25	ABSW
WG4-257/61A	13,6	24,2	16	ABSW
WG4-348/161	26	6	31	ABSW
WG4-53/2	44	80,6	70,6	Recloser
WG4-436/45	36	24,4	7,3	SSO
WG4-559/132D	54,9	7,2	7,3	Recloser
WG4-559/132 SW1	6	32,5	32,8	LBS
WG4-559/132 SW2	3,2	41,7	1,4	LBS
WG4-559/123	18,3	13,5	14,4	ABSW

- 4) *Data Panjang Section*: Data panjang *section* merupakan panjang penghantar yang diukur di antara dua peralatan *switching*. Data panjang *section* diukur melalui *enterprise asset management* (EAM). Penyulang WNI10 memiliki total panjang penyulang 64,51 km. Sedangkan untuk jarak tiap *section* ditunjukkan oleh tabel 3.

Tabel 3. Data panjang section penyulang WNI10

Section	1	2	3	4	5	6	7
Jarak (km)	3	6,2	0,55	5,2	0,65	6,1	7
Section	8	9	10	11	12	13	
Jarak (km)	8,6	6,2	0,21	7,4	0,6	7,2	

- 5) *Data Angka Keluar dan Durasi Perbaikan Komponen*: Angka keluar komponen merupakan nilai di mana keadaan sebuah komponen dalam sistem tenaga listrik tidak dapat berfungsi secara normal dikarenakan hal yang berkaitan dengan komponen tersebut [13]. Keadaan sebagaimana disebutkan bisa menyebabkan pemadaman ataupun tidak tergantung konfigurasi sistem. Durasi



Gambar 2. Diagram Alir tahapan penelitian

perbaikan merupakan lamanya waktu dari saat pemadaman terjadi hingga menyala kembali [13]. Adapun pemadaman yang dimaksud berupa pemadaman terencana maupun pemadaman darurat akibat adanya gangguan.

Tabel 4. Angka keluar dan durasi perbaikan komponen

Komponen	Failure Rate (Padam/Tahun)	Repair Time (Jam)
SUTM	0,2	3
Trafo	0,005	10
PMT	0,004	10
PBO	0,005	10
SSO	0,005	10
ABSW	0,003	10
LBS	0,003	10

B. Tahapan Penelitian

Pelaksanaan penelitian melalui tahapan yang dimulai dari perumusan masalah, studi literatur, pengambilan data, pembuatan simulasi, analisis hasil, dan terakhir didapatkan kesimpulan. Tahapan penelitian seperti ditunjukkan diagram alir pada Gambar 2.

C. Perancangan Simulasi

Tahapan pertama perancangan simulasi adalah membuat *single line diagram* sistem distribusi 20 kV penyulang WNI10 pada perangkat lunak. Komponen yang ditambahkan disesuaikan dengan *single line diagram* penyulang seperti ditunjukkan pada Gambar 3. Setelah pembuatan *single line diagram* selesai, kemudian dilakukan pengisian data komponen (Tabel 5). Komponen pertama adalah *power grid* yang mana diasumsikan sebagai sumber jaringan distribusi 20 kV yaitu trafo TM pada gardu induk.

Trafo GI menghasilkan *rating* tegangan 20 kV, sehingga pada *rated* kV bagian *rating* diisikan sejumlah 20 kV

balanced. Untuk mengatur *rating* hubung singkat trafo yaitu pada bagian *short circuit rating*, pada tiga fase dimasukkan *rating* hubung singkat tiga fase yang didapat dari (1).

Tabel 5. Spesifikasi trafo tegangan menengah

Spesifikasi	Keterangan
Merk Trafo	Unindo
Daya Pengenal	60 MVA
Frekuensi	50 Hz
Fase	3
Tegangan Primer	150 kV
Tegangan Sekunder	20 kV
Short-circuit 150 kV	40 kA
Short-circuit 20 kV	25 kA
X/R ratio	12.5
NGR	0.4 Ohm

$$MVAsc(3p) = \sqrt{3} \times I_{sc(sek)} \times V_{L-L}$$

$$MVAsc(3p) = \sqrt{3} \times 25 \text{ kA} \times 20 \text{ kV} \quad (1)$$

$$MVAsc(3p) = 870 \text{ MVA}$$

Sedangkan pada *rating* hubung singkat 1 fase diisikan dengan nilai yang hampir sama seperti ditunjukkan oleh hasil perhitungan (2) dan (3).

$$I_{sc}(1p) = \frac{V_{L-L}}{\sqrt{3} \times NGR}$$

$$I_{sc}(1p) = \frac{20 \text{ kV}}{\sqrt{3} \times 0.4\Omega} \quad (2)$$

$$I_{sc}(1p) = 28571 \text{ A}$$

$$MVAsc(1p) = \sqrt{3} \times I_{sc1p} \times V_{L-L} \quad (3)$$

$$MVAsc(1p) = \sqrt{3} \times 28.57 \text{ kA} \times 20 \text{ kV}$$

$$MVAsc(1p) = 989.7 MVA$$

Peralatan PMT atau HVCB diatur pada bagian *Rating*. Pada bagian tersebut diisikan parameter seperti tegangan maksimum, arus kontinu, dan arus gangguan maksimum (Tabel 6).

Tabel 6. Spesifikasi komponen PMT [7]

Spesifikasi	Nilai
Rated kV	24 Kv
Rated Amp	400 A
Breaking	12,5 kA
Making Peak	31,3 kA

Untuk pengaturan busbar pada bagian *rating* dengan mengatur *rating* arus kontinu dan batas maksimum arusnya (*peak*). Busbar ID Kubikel memiliki arus kontinu dan maksimum yang sama dengan PMT (Tabel 7). Sedangkan untuk tipe peralatannya dipilih *switchgear* dikarenakan busbar berada pada tegangan di atas 1kV.

Tabel 7. Spesifikasi busbar [8]

Spesifikasi	Nilai
Standard	IEC
Type	Switchgear
Continuous Amp	400 A
Peak Amp	31,25 kA

Peralatan *switching* berupa ABSW dan LBS menggunakan komponen *contactor* pada *software* simulasi. *Setting* parameter yang diperlukan untuk *contactor* adalah *rating* arus dan tegangannya (Tabel 8). Sedangkan untuk pengaturan *reability*-nya disesuaikan dengan data pada Tabel 4.

Tabel 8. Spesifikasi peralatan *switching* [9]

Spesifikasi	Nilai
Type	Contactor
Rated kV	27 kV
Continuous Amp	630 A
Interupting Amp	12,5 kA
Failure Rate	0,003
Repair Time	10 hrs

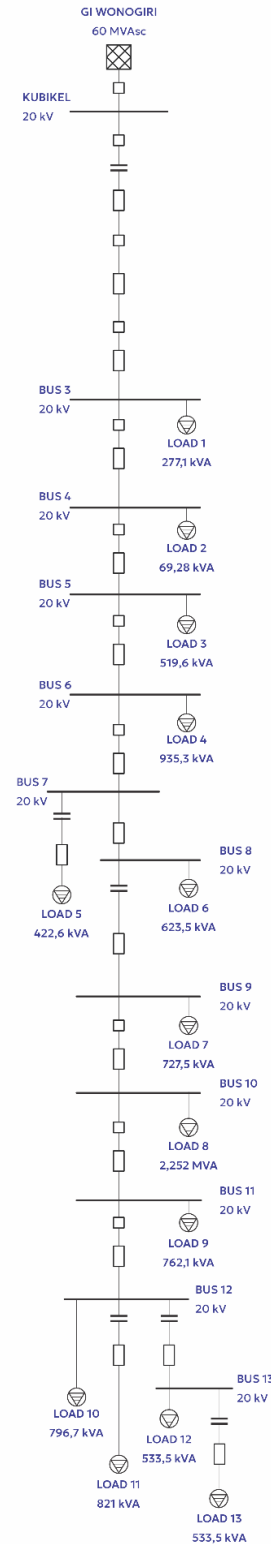
Komponen proteksi yaitu *recloser* dan SSO diasumsikan merupakan komponen yang sama sehingga memiliki parameter yang sama pula pada pengaturannya. *Setting* yang diperlukan untuk alat proteksi yaitu pada bagian *rating* (Tabel 9). Sedangkan untuk *setting reability*-nya disesuaikan dengan data pada Tabel 4.

Tabel 9. Spesifikasi alat proteksi [9]

Spesifikasi	Nilai
Rated kV	27 kV
Maximum Amp	630 A
Breaking kA	12,5 kA
Making kA	31,5 kA
Failure Rate	0,005
Repair Time	10 hrs

Penghantar atau *Cable* pada *SLD* yang telah dibuat diberikan pada setiap *section*. Maka untuk pengaturan panjang kabel disesuaikan seperti pada Tabel 10. Sedangkan

untuk spesifikasi penghantar, diatur pada bagian Info dan dipilih *Library*. Spesifikasi penghantar yang digunakan yaitu seperti ditunjukkan pada Tabel 11. Data *Reliability* komponen *cable* disesuaikan dengan Tabel 4.



Gambar 3. Single line diagram WNI10 pada *software* simulasi

Tabel 10. Data panjang SUTM

SUTM	1	2	3	4	5	6	7	8
Length (km)	4,3	0,84	3	6,2	0,55	5,2	0,27	6,1
SUTM	9	10	11	12	13	14	15	16
Length (km)	0,36	7	8,6	6,2	0,21	7,4	0,6	7,2

Tabel 11. Spesifikasi SUTM

Spesifikasi	Nilai
<i>Cable Type</i>	AAAC
<i>Rated kV</i>	20 kV
<i>Rated Current</i>	585 A
<i>Cable Area</i>	240 mm ²
<i>Pos./Neg. Impedance</i>	0,134+j0,316
<i>Zero Impedance</i>	0,282+j1,603
<i>Failure Rate</i>	0,2
<i>Repair Time</i>	3 hrs

Komponen terakhir yaitu *Lumped Load*. Karena beban tiap *section* diasumsikan sebuah trafo dengan asumsi faktor daya 90%. Untuk *setting* besar beban disesuaikan seperti pada Tabel 2, dan untuk parameter *Reliability* disesuaikan dengan Tabel 4. Sedangkan untuk parameter jumlah pelanggan (Tabel 12) dicari berdasarkan (4).

$$Plg. \text{ per Section} = \frac{\text{Beban Section}}{\text{Total Beban Penyulang}} \times \text{Total Plg.} \quad (4)$$

Tabel 12. Data pelanggan *section*

Section	Beban (A)*	Pelanggan
SEC1	8	1789
SEC2	2	447
SEC3	15	3355
SEC4	27	6038
SEC5	12,2	2728
SEC6	18	4025
SEC7	21	4696
SEC8	65	14536
SEC9	22	4920
SEC10	23	5144
SEC11	23,7	5300
SEC12	15,4	3444
SEC13	15,4	3444
Total	267,7	59867

*Beban rata-rata tiap fase

III. HASIL DAN PEMBAHASAN

Analisis data yang akan dilakukan pada pengerjaan penelitian adalah dengan melakukan perbandingan nilai SAIDI/ SAIFI pada setiap perubahan posisi peletakan *recloser* dan SSO. Dari hasil perbandingan nilai-nilai tersebut, akan dicari nilai SAIDI/SAIFI yang paling kecil sehingga menandakan posisi *recloser* yang lebih optimal.

A. Simulasi Reliability Assesment

Perubahan posisi yang pertama diamati adalah *Recloser 1* dan *Recloser 2*. Posisi kedua *recloser* juga tidak perlu untuk

dibalik karena hasilnya akan sama. Hasil simulasi pada Pengamatan-1 seperti ditunjukkan pada Tabel 13.

Tabel 13. Hasil simulasi pengamatan-1

R3	SEC 3		SEC 4		SEC 6	
	SAIDI	SAIFI	SAIDI	SAIFI	SAIDI	SAIFI
R4						
SEC2	29,42	9,71	28,50	9,40	27,33	9,00
SEC3	-	-	28,60	9,43	27,42	9,04
SEC4	-	-	-	-	27,25	8,98
SEC6	-	-	-	-	-	-
SEC7	-	-	-	-	-	-
R3	SEC 7			SEC 8		
	SAIDI	SAIFI	SAIDI	SAIFI	SAIDI	SAIFI
R4						
SEC2	26,94	8,88	27,70	9,13		
SEC3	27,00	8,90	27,72	9,14		
SEC4	26,60	8,76	27,10	8,93		
SEC6	26,48	8,73	26,55	8,75		
SEC7	-	-	26,86	8,85		

Perubahan posisi kedua yang diamati adalah *Sectionalizer 2*. Jumlah percobaan perubahan penempatan SSO 2 tersebut dilakukan sesuai dengan hasil paling rendah dari Pengamatan-1 dan *section* paling optimal dari *recloser 3*. Pengamatan-1 menunjukkan bahwa posisi *recloser 3* paling optimal berada pada *section 7*, maka kemungkinan jumlah percobaan perpindahan letak SSO2 hanya dua yaitu pada *section 8* dan *section 9*. Hasil simulasi pada Pengamatan-2 seperti ditunjukkan pada Tabel 14.

Tabel 14. Hasil simulasi pengamatan-2

SSO	SEC 8		SEC 9	
	SAIDI	SAIFI	SAIDI	SAIFI
	26,98	8,90	26,48	8,73

Perubahan posisi terakhir yang diamati adalah *Recloser 4*. Jumlah percobaan perubahan penempatan *recloser 4* dilakukan sesuai dengan hasil paling rendah dari pengamatan-2 dan *section* paling optimal dari SSO 2. Pengamatan-2 menunjukkan posisi SSO 2 yang paling optimal berada pada *section 9*, maka kemungkinan jumlah percobaan perpindahan letak *recloser 4* hanya satu yaitu pada *section 10*. Hasil simulasi pada Pengamatan-3 ditunjukkan pada Tabel 15.

Tabel 15. Hasil simulasi pengamatan-3

R4	SEC 10	
	SAIDI	SAIFI
	26,48	8,73

B. Perhitungan Matematis

Perhitungan secara matematis dilakukan untuk mendapatkan hasil lain di samping pengamatan dengan menggunakan simulasi perangkat lunak atau untuk membuktikan secara teoretis hasil yang didapatkan dari simulasi. Hasil perhitungan ini kemudian akan dibandingkan dengan hasil dari simulasi. Diharapkan bahwa baik hasil simulasi maupun matematis memiliki kesamaan. Untuk perhitungan indeks SAIDI dan SAIFI dilakukan analisis berdasarkan ketentuan pada SPLN 59:1985.

Pada pengamatan pertama (pengamatan perubahan posisi *recloser 2* dan *recloser 3*) percobaan pertama yaitu dengan meletakkan *recloser 2* pada *section 2* dan *recloser 3* pada *section 3*. Nilai yang pertama dicari adalah nilai indeks SAIFI. Dengan mempertimbangkan seluruh komponen yang berada pada penyulang, didapatkan nilai SAIFI seperti ditunjukkan pada Tabel 16.

Tabel 16. Perhitungan indeks SAIFI

Jenis Komponen	Nilai Komponen (Unit atau Km)	Angka Keluar (Unit/Tahun atau km/Tahun)	Sistem Keluar (Unit)	Frekuensi Pemadaman (Padam/Tahun)
	(Xi)	(Ji)	(Ci)	(F)
PMT	1	0,004	1	0,004
ABSW 1	1	0,003	1	0,003
Recloser 1	1	0,005	1	0,005
SSO 1	1	0,005	1	0,005
Recloser 2	1	0,005	1	0,005
Recloser 3	1	0,005	0,97	0,005
ABSW 2	5	0,003	0,96	0,014
SSO 2	1	0,005	0,96	0,005
Recloser 4	1	0,005	0,37	0,002
LBS	1	0,005	0,29	0,001
ABSW 3	1	0,003	0,29	0,001
SUTM 1	4,3	0,2	1	0,860
SUTM 2	0,84	0,2	1	0,168
SUTM 3	3	0,2	1	0,600
SUTM 4	6,2	0,2	0,97	1,203
SUTM 5	28,08	0,2	0,96	5,406
SUTM 6	6,2	0,2	0,37	0,461
SUTM 7	0,21	0,2	0,29	0,012
SUTM 8	7,4	0,2	0,29	0,428
SUTM 9	7,8	0,2	0,29	0,452
Trafo/Beban	13	0,005	0,077	0,005
SAIFI				9,65

Nilai- nilai pada Tabel 16 didapatkan dari proses perhitungan yang diuraikan berikut,

- 1) Kolom nilai komponen berisi jumlah dari komponen yang disebutkan pada kolom jenis komponen, dan berisi panjang konduktor atau SUTM di antara dua buah alat proteksi atau *switching* seperti ditunjukkan oleh Tabel 17.
- 2) Kolom angka keluar diisikan seperti pada Tabel 4 bagian *repair time*.
- 3) Kolom sistem keluar berisi rasio jumlah pelanggan yang ter dampak akibat terjadinya gangguan pada komponen. PMT memiliki nilai sistem keluar 1 dikarenakan ketika PMT mengalami gangguan seperti *short circuit*, maka seluruh pelanggan akan padam. Sedangkan *recloser 3* memiliki nilai sistem keluar 0,95 dikarenakan apabila pada *recloser* tersebut mengalami gangguan, maka *recloser* di depannya yaitu *recloser 2* akan bekerja (*open/trip*). Rasio pelanggan terdampak pemadaman dapat dihitung dengan (5).

$$Sistem\ Keluar = \frac{Pelanggan\ Padam\ (Section\ 2 - 13)}{Total\ Pelanggan\ Penyulang} \tag{5}$$

$$Sistem\ Keluar = \frac{58078}{59867} = 0,97$$

Sistem keluar pada trafo atau beban bernilai 0.077 dikarenakan apabila pada beban tersebut mengalami gangguan, maka alat proteksi pada trafo yang akan bekerja

sehingga trafo akan padam. Sistem keluar diperoleh dari (6).

$$Sistem\ Keluar = \frac{1}{Total\ Trafo/Beban} \tag{6}$$

$$Sistem\ Keluar = \frac{1}{13} = 0,077$$

- 4) Indeks SAIFI didapatkan dengan mengalikan seluruh parameter tiap komponen sehingga didapatkan frekuensi pemadaman (F). Nilai frekuensi pemadaman ini kemudian dijumlahkan.

Tabel 17. Range SUTM

SUTM	Alat Proteksi / Switching		Panjang
	A	B	
SUTM 1	PMT	RECLOSER 1	SUTM 1
SUTM 2	RECLOSER 1	SSO 1	SUTM 2
SUTM 3	SSO 1	RECLOSER 2	Section 1
SUTM 4	RECLOSER 2	RECLOSER 3	Section 2
SUTM 5	RECLOSER 3	SSO 2	Section 3 – 8
SUTM 6	SSO 2	RECLOSER 4	Section 9
SUTM 7	RECLOSER 4	LBS 1	Section 10
SUTM 8	BS 1 SW 1	UJUNG	Section 11
SUTM 9	LBS 1 SW 2	UJUNG	Section 12 - 13

Nilai yang selanjutnya dicari adalah nilai indeks SAIDI. Dengan mempertimbangkan seluruh komponen yang berada pada penyulang, didapatkan indeks SAIDI seperti ditunjukkan pada Tabel 18.

Tabel 18. Perhitungan Indeks SAIDI

Jenis Komponen	Frekuensi Pemadaman (Frekuensi/Tahun)	Repair Time (Jam)	Lama Pemadaman (Jam/Tahun)
	Fi	Ti	U
	PMT	0,004	10
ABSW 1	0,003	10	0,030
Recloser 1	0,005	10	0,050
SSO 1	0,005	10	0,050
Recloser 2	0,005	10	0,050
Recloser 3	0,005	10	0,049
ABSW 2	0,014	10	0,144
SSO 2	0,005	10	0,048
Recloser 4	0,002	10	0,019
LBS	0,001	10	0,014
ABSW 3	0,001	10	0,009
SUTM 1	0,860	3	2,580
SUTM 2	0,168	3	0,504
SUTM 3	0,600	3	1,800
SUTM 4	1,203	3	3,609
SUTM 5	5,406	3	16,219
SUTM 6	0,461	3	1,383
SUTM 7	0,012	3	0,036
SUTM 8	0,428	3	1,285
SUTM 9	0,452	3	1,355
Trafo/Beban	0,005	10	0,050
SAIDI			29,32

Nilai- nilai pada Tabel 18 didapatkan dari proses perhitungan yang diuraikan berikut,

1. Nilai pada kolom Frekuensi Pemadaman (Fi) didapatkan dari hasil perhitungan frekuensi pemadaman tiap komponen Tabel 16 sebelumnya.
2. Kolom *Repair Time* (Ti) berisi perkiraan waktu perbaikan komponen hingga gangguan dapat teratasi berdasarkan SPLN 59:1985. Nilai *Repair Time* seperti ditunjukkan Tabel 4.

Proses perhitungan matematis indeks SAIDI dan SAIFI seperti langkah di atas dilakukan ke seluruh percobaan dari pengamatan ke-1 hingga ke-3. Hasil dari perhitungan secara matematis tersebut seperti ditunjukkan pada tabel 19, 20 dan 21. Tabel 19 dan 20 merupakan hasil perhitungan matematis pengamatan 1 dan 2, tabel 21 merupakan hasil perhitungan matematis pengamatan 3.

Tabel 19. Hasil perhitungan matematis pengamatan-1

R3 R2	SEC 3		SEC 4		SEC 6	
	SAIDI	SAIFI	SAIDI	SAIFI	SAIDI	SAIFI
SEC 2	29,32	9,65	28,40	9,34	27,23	8,95
SEC 3	-	-	28,50	9,37	27,31	8,90
SEC 4	-	-	-	-	27,15	8,98
SEC 6	-	-	-	-	-	-
SEC 7	-	-	-	-	-	-

R3 R2	SEC 7		SEC 8	
	SAIDI	SAIFI	SAIDI	SAIFI
SEC 2	26,83	8,82	26,83	8,82
SEC 3	26,90	8,84	26,90	8,84
SEC 4	26,50	8,71	26,50	8,71
SEC 6	26,37	8,67	26,37	8,67
SEC 7	-	-	-	-

Tabel 20. Hasil perhitungan matematis pengamatan-2

SSO	SEC 8		SEC 9	
	SAIDI	SAIFI	SAIDI	SAIFI
	26,86	8,83	26,37	8,67

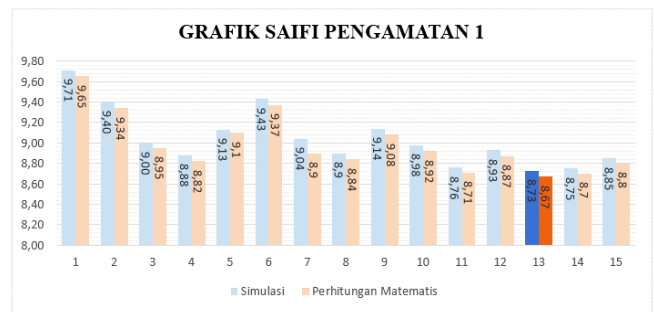
Tabel 21. Hasil perhitungan matematis pengamatan-3

R4	SEC 10	
	SAIDI	SAIFI
	26,37	8,67

C. Perbandingan Hasil

Metode pengamatan secara simulasi dan perhitungan matematis yang telah didapatkan, kemudian dibandingkan untuk menemukan keputusan perubahan posisi *recloser* dan *sectionalizer* yang memiliki hasil indeks SAIDI dan SAIFI paling optimal.

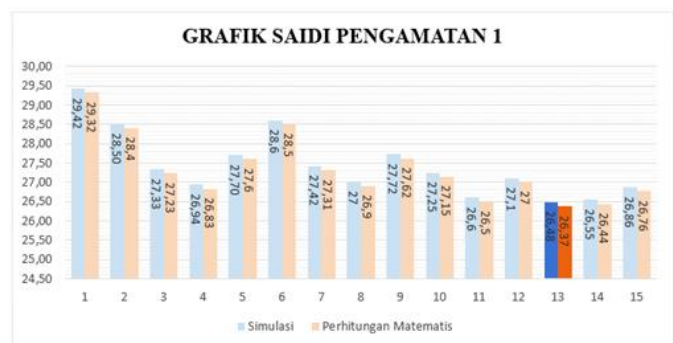
Pada pengamatan pertama yaitu perubahan posisi *recloser* 2 dan *recloser* 3 berdasarkan hasil simulasi dan perhitungan matematis, didapatkan grafik nilai SAIDI dan SAIFI seperti ditunjukkan pada grafik Gambar 4 dan Gambar 5.



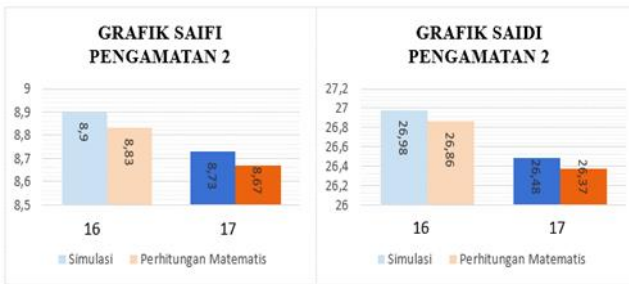
Gambar 4. Grafik perbandingan nilai SAIFI pengamatan-1

Dari hasil metode simulasi didapatkan bahwa penempatan kedua *recloser* paling optimal yaitu pada *section* 6 dan *section* 7 (Percobaan 13) dengan nilai SAIFI 8,73 padam/tahun dan SAIDI 26,48 jam/tahun yang mana merupakan nilai terendah dari seluruh hasil percobaan pada pengamatan pertama dengan metode simulasi. Sedangkan dari hasil perhitungan secara matematis didapatkan hasil yang sama yaitu penempatan kedua *recloser* paling optimal pada *section* 6 dan *section* 7 (Percobaan 13) dengan nilai SAIFI 8,67 padam/tahun dan SAIDI 26,37 jam/tahun yang mana merupakan nilai terendah dari seluruh hasil percobaan pada pengamatan pertama dengan metode perhitungan secara matematis.

Dari hasil paling optimal dari pengamatan 1 tersebut kemudian dicari hasil pengamatan 2 yaitu penempatan posisi SSO 2 paling optimal. Perbandingan hasil-hasil percobaan pada pengamatan 2 ditunjukkan grafik Gambar 6. Dari hasil metode simulasi didapatkan bahwa penempatan posisi SSO 2 paling optimal yaitu pada *section* 9 dengan nilai SAIFI 8,73 padam/tahun dan SAIDI 26,48 jam/tahun yang mana merupakan nilai terendah dari kedua hasil percobaan. Sedangkan dari metode perhitungan matematis didapatkan hasil yang sama yaitu penempatan posisi SSO 2 paling optimal pada *section* 9 dengan nilai SAIFI 8,67 padam/tahun dan SAIDI 26,37 jam/tahun yang mana merupakan nilai terendah dari kedua hasil percobaan.

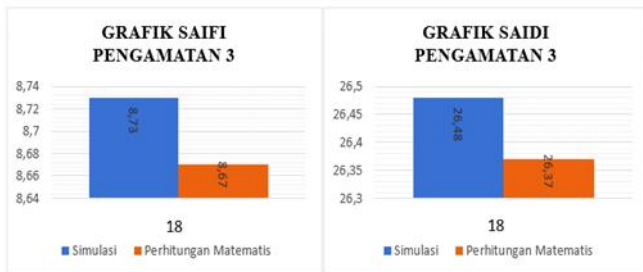


Gambar 5. Grafik perbandingan nilai SAIDI pengamatan-1



Gambar 6. Grafik perbandingan nilai SAIFI/SAIDI pengamatan-2

Selanjutnya, dari hasil pengamatan ke-2 kemudian dilakukan pengamatan ke-3 yaitu mencari posisi *recloser* 4 yang paling optimal. Pada pengamatan ke-3 hanya dilakukan sekali percobaan yang hasilnya seperti grafik Gambar 7,



Gambar 7. Grafik perbandingan nilai SAIFI/SAIDI pengamatan-3

Dari hasil metode simulasi didapatkan bahwa penempatan posisi *Recloser* 4 paling optimal yaitu pada *section* 10 dengan nilai SAIFI 8,73 padam/tahun dan SAIDI 26,48 jam/tahun yang mana merupakan nilai terendah dari kedua hasil percobaan. Sedangkan dari metode perhitungan matematis didapatkan hasil yang sama yaitu penempatan posisi *Recloser* 4 paling optimal pada *section* 10 dengan nilai SAIFI 8,67 kali padam/tahun dan SAIDI 26,37 jam/tahun yang mana merupakan nilai terendah dari kedua hasil percobaan.

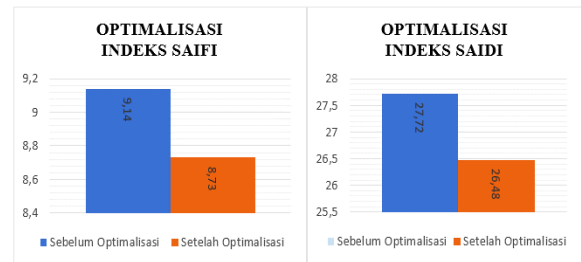
Pengamatan menggunakan metode simulasi menggunakan *software* memiliki *trend* grafik yang sama dengan hasil dari pengamatan menggunakan metode perhitungan secara matematis. Di mana posisi paling optimal dari peralatan *recloser* dan *sectionalizer* yaitu dengan meletakkan alat proteksi sebagai berikut,

1. *Recloser* 2 : *Section* 6
2. *Recloser* 3 : *Section* 7
3. *Sectionalizer* 2 : *Section* 9
4. *Recloser* 4 : *Section* 10

Berdasarkan hasil simulasi, pada posisi alat-alat proteksi sebelum dilakukan perubahan yaitu *recloser* 2 pada *section* 3, *recloser* 3 pada *section* 8, SSO 2 pada *section* 9, dan *recloser* 4 pada *section* 10 didapatkan nilai indeks SAIDI 27,72 jam/tahun dan indeks SAIFI 9,14 padam/tahun. Kemudian, setelah dilakukan perubahan posisi alat-alat proteksi tersebut didapatkan nilai indeks SAIFI 8,73 padam/tahun dan SAIDI 26,48 jam/tahun. Untuk perbedaan lebih jelas dari nilai

sebelum dan sesudah dilakukan perubahan posisi, seperti ditunjukkan pada grafik Gambar 8.

Dari grafik tersebut didapatkan bahwa perubahan posisi dari *recloser* dan *sectionalizer* penyulang WNI 10 berdasarkan simulasi menggunakan *software* dapat mengurangi nilai indeks SAIDI sebesar 1,24 poin atau sebesar 4,47% dan mengurangi indeks SAIFI sebesar 0,41 poin atau sebesar 4,48%.



Gambar 8. Grafik perubahan hasil optimisasi

Untuk menghitung persentase hasil optimisasi penempatan *recloser* dan *sectionalizer* seperti ditunjukkan (7) dan (8).

$$\begin{aligned}
 \% \Delta \text{SAIFI} &= \frac{|\text{SAIFI sebelum} - \text{SAIFI setelah}|}{\text{SAIFI sebelum}} \times 100\% \\
 &= \frac{|9,14 - 8,73|}{9,14} \times 100\% \\
 &= \frac{0,41}{9,14} \times 100\% = 4,48\%
 \end{aligned}
 \tag{7}$$

$$\begin{aligned}
 \% \Delta \text{SAIDI} &= \frac{|\text{SAIDI sebelum} - \text{SAIDI setelah}|}{\text{SAIDI sebelum}} \times 100\% \\
 &= \frac{|27,72 - 26,48|}{27,72} \times 100\% \\
 &= \frac{1,24}{27,72} \times 100\% = 4,48\%
 \end{aligned}
 \tag{8}$$

IV. SIMPULAN

Berdasarkan hasil pengamatan yang telah dilakukan, kemudian dapat ditarik beberapa kesimpulan sebagai berikut,

- 1) Dari hasil simulasi, perubahan posisi alat proteksi (*recloser* dan *sectionalizer*) pada penyulang Wonogiri 10, dapat mengoptimisasi atau menurunkan indeks SAIDI dan SAIFI dari posisi sebelumnya.
- 2) Berdasarkan hasil pengamatan yang telah dilakukan, penempatan *recloser* dan *sectionalizer* yang optimal pada penyulang Wonogiri 10 adalah dengan meletakkan *recloser* 2 pada *section* 6, *recloser* 3 pada *section* 7, *sectionalizer* 2 pada *section* 9, dan *recloser* 4 pada *section* 10.
- 3) Setelah perubahan posisi alat proteksi, indeks keandalan penyulang Wonogiri 10 menjadi sebesar 26,48 jam/tahun (SAIDI) dan 8,73 padam/tahun (SAIFI) atau menjadi lebih optimal 4,48% (SAIDI) dan 4,47% (SAIFI) daripada posisi alat proteksi sebelumnya.

- 4) Berdasarkan indeks keandalan PLN (SPLN 68-2 : 1986) hanya nilai SAIDI yang memenuhi standar PLN (27 jam/tahun) dan sedangkan nilai SAIFI belum memenuhi standar PLN (4,16 kali/tahun).

PENELITIAN LANJUTAN

Untuk pengembangan yang lebih lanjut berdasarkan hasil dan kesimpulan penelitian yang telah dilakukan, disarankan atau direkomendasikan untuk penelitian ke depannya sebagai berikut,

- 1) Dikarenakan hasil indeks keandalan yang didapatkan tidak terlalu berkurang signifikan, maka untuk penelitian selanjutnya disarankan untuk dilakukan penambahan alat proteksi pada penyulang Wonogiri 10 kemudian mencari posisi yang paling optimal kembali.
- 2) Untuk memperoleh hasil yang lebih variatif, dapat dilakukan metode pengamatan yang berbeda seperti menggunakan kombinasi-kombinasi alat proteksi dengan jumlah percobaan yang lebih banyak.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] F. Atmajaya, "Analisa Keandalan Sistem Distribusi 20 KV PT PLN (Persero) Area Pelayanan Jaringan (APJ) Pontianak Metode Reliability Network Equivalent Approach (RNEA)," *Journal of Electrical Engineering, Energy, and Information Technology (J3EIT)*, 2019.
- [2] B. Pandjaitan, *Praktik-Praktik Proteksi Sistem Tenaga Listrik*, Yogyakarta: Andi Offset, 2012.
- [3] Marwan, Alimin and A. E. Triana, "Penggunaan Metode Reliability Network Equivalent Approach untuk Mengevaluasi Keandalan Sistem Jaringan Distribusi 20 kV," *Jurnal Teknologi Elekterika*, vol. 17, no. 12, 2020.
- [4] DIgSILENT Gmbh, *DIgSILENT Power Factory Version 15 User Manual*, Germany: DIgSILENT Gmbh, 2014.
- [5] Operation Technology Inc., "Reliability Assesment Analysis," in *ETAP Power Station 4.0 User Guide*, Southern California, Operation Technology Inc., 2001, pp. 23-25.
- [6] S. Hani, G. Santoso and R. D. Wibowo, "Penempatan Recloser sebagai Parameter Keandalan Sistem Proteksi pada Sistem Distribusi," *Simposium Nasional RAPI XVIII FT UMS*, 2019.
- [7] M. R. Sanaky, I. B. Sulitiawati, and E. Nurcahyo, "Peningkatan Indeks Keandalan dengan Penambahan Recloser pada Sistem Distribusi di PLTD Subaim Menggunakan Metode Section Technique," *JURNAL MAGNETIKA*, vol. 1, no. 1, 2017.
- [8] A. Silaban, "Studi tentang Penggunaan Recloser pada Sistem Jaringan Distribusi 20kV," *Tugas Akhir Univeristas Sumatera Utara*, 2009.
- [9] A. W. D. P., "Optimalisasi Penurunan Gangguan Recloser pada Penyulang WNI10 di Wilayah Kerja ULP Jatisrono Masa Pandemi COVID-19," *Project Assignment Supervisory Education PT. PLN (Persero)*, 2020.
- [10] Y. L. Baracy, L. F. Venturini, N. O. Branco, D. Issicaba, and A. P. Grilo, "Recloser placement optimization using the cross-entropy method and reassessment of Monte Carlo sampled states," *Electric Power Systems Research*, vol. 189, 2020.
- [11] B. Ghosh, A. Kumar and A. R. Bhowmik, "Reliability Efficiency Enhancement of a Radial Distribution System through Value-based Auto-recloser Placement and Network Remodelling," *Protection and Control of Modern Power Systems*, 2023.
- [12] A. Zeinalzadeh, A. Estebarsari, and A. Bahmanyar, "Multi-Objective Optimal Placement of Recloser and Sectionalizer in Electricity Distribution Feeders," *2019 IEEE International Conference on Environment and Electrical Engineering and 2019 IEEE Industrial and Commercial Power Systems Europe (EEEIC / I&CPS Europe)*, pp. 1-4, 2019.
- [13] PT PLN (Persero), *Keandalan pada Sistem Distribusi 20kV dan 6kV*, Jakarta: PT PLN, 1985.