

Analisis Keandalan Sistem Distribusi Listrik Sistem Zero Down Time Pada Sirkuit Mandalika

Lalu Deni Urif Sukma¹, Supriyatna,ST.,MT.¹, Sultan,ST.,MT.¹

¹Jurusan Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Mataram Jl. Majapahit 62 Mataram, INDONESIA 83125

ARTICLE INFO

Article history:

Received July 25, 2025
Revised August 30, 2025
Accepted August 31, 2025

Keywords:

Zero Down Time
Indeks Keandalan
Metode Markov
ETAP
Sirkuit Mandalika

ABSTRACT

Ketersediaan suplai listrik yang andal merupakan aspek pendukung dalam kegiatan berskala internasional seperti MotoGP di Sirkuit Mandalika. Untuk menjaga kontinuitas pelayanan tanpa gangguan, PT PLN (Persero) menerapkan sistem distribusi dengan konsep Zero Down Time yang mengandalkan penyulang Mandalika I, Mandalika II, dan cadangan MVTIC. Penelitian ini bertujuan menganalisis indeks keandalan sistem distribusi area Sirkuit Mandalika dengan dan tanpa penerapan sistem cadangan MVTIC. Hasil analisis menunjukkan sebelum penerapan backup MVTIC, nilai SAIDI dan SAIFI Metode Markov sebesar 0,13 jam/pelanggan/tahun dan 0,01 kali/pelanggan/tahun, sedangkan simulasi ETAP menghasilkan nilai 0,55 jam/pelanggan/tahun dan 0,05 kali/pelanggan/tahun. Setelah penerapan backup MVTIC, nilai tersebut menjadi 0,0001 jam dan 0,0007 kali (Markov), serta 0,08 jam dan 0,008 kali (ETAP). Penurunan ini menunjukkan peningkatan keandalan sebesar 99,92% dan 93% (Markov), serta 85,45% dan 84% (ETAP). Dengan demikian, penerapan backup MVTIC sangat efektif dalam meningkatkan keandalan sistem distribusi pada kawasan Zero Down Time Sirkuit Mandalika.

Reliable electricity supply is crucial to support international events such as MotoGP at the Mandalika Circuit. To ensure uninterrupted service, PT PLN (Persero) implements a Zero Down Time (ZDT) distribution system using Mandalika I, Mandalika II, and backup MVTIC feeders. This study analyzes the reliability indices of the Mandalika distribution system with and without the MVTIC backup. Before its implementation, SAIDI and SAIFI values from the Markov method were 0.13 hours/customer/year and 0.01 interruptions/customer/year, while ETAP simulation showed 0.55 hours and 0.05 interruptions. After applying the MVTIC backup, the values dropped to 0.0001 hours and 0.0007 interruptions (Markov), and 0.08 hours and 0.008 interruptions (ETAP). These results indicate reliability improvements of 99.92% and 93% (Markov) as well as 85.45% and 84% (ETAP). Therefore, the MVTIC backup is proven effective in improving the reliability of the ZDT distribution system at Mandalika Circuit.

Corresponding Author:

Lalu Deni Urif Sukma, Program Studi Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Mataram, Jln. Majapahit No.62, Mataram 83115
Email: denisukma23@gmail.com

1. PENDAHULUAN

Ketersediaan pasokan energi listrik yang andal merupakan faktor utama dalam dunia bisnis, industri maupun kebutuhan sehari-hari. Hal ini sangat relevan untuk Sirkuit Internasional Pertamina Mandalika, yang terletak di Kawasan Ekonomi Khusus (KEK) Mandalika, Nusa Tenggara Barat. Sirkuit ini digunakan untuk ajang balap internasional seperti MotoGP, World Superbike, dan beberapa acara lainnya. Keandalan suplai listrik sangat penting untuk memastikan acara berjalan dengan lancar tanpa gangguan listrik.

Sistem Zero Down Time (ZDT) merupakan suatu konsep jaringan listrik yang dirancang tanpa adanya pemadaman meskipun terjadi hubung singkat atau pemeliharaan jaringan. Dimana jaringan distribusi dirancang sedemikian rupa sehingga dapat tetap mensuplai listrik ketika terjadi gangguan pada jaringan. Zero Down Time (ZDT) merupakan salah satu solusi untuk menghindari pemadaman listrik dan memastikan suplai listrik yang andal.

PT.PLN (Persero) menerapkan sistem Zero Down Time (ZDT). Sistem ini merupakan jaringan listrik yang dirancang dengan keandalan tinggi. Diterapkan di kawasan VIP atau tempat yang memerlukan layanan listrik tanpa gangguan, seperti di kawasan Sudirman Central Business District (SCBD), Kawasan Industri Makassar (KIMA), Kota Surakarta, Kota Semarang dan Jakabaring Sport City (JSC) di Palembang.

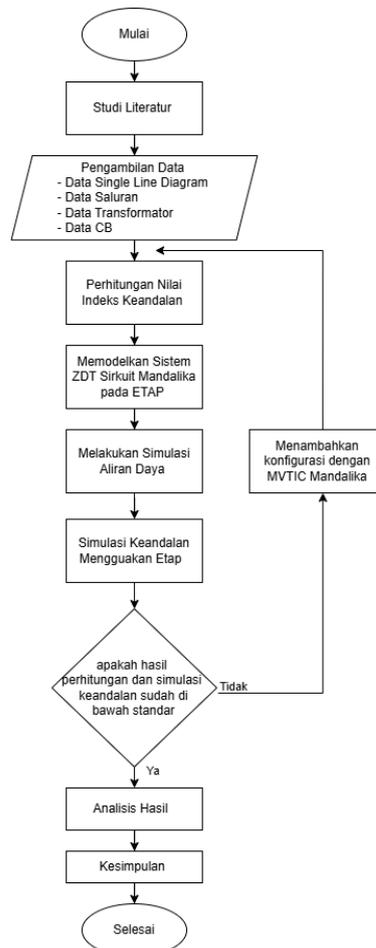
PT. PLN mendukung sistem ZDT pada Sirkuit Mandalika dengan menggunakan Uninterruptible Power Supply (UPS) untuk memastikan jaringan tetap stabil dan tidak terjadi “kedip” listrik saat terjadi pemindahan beban akibat gangguan. Jaringan distribusi di kawasan Sirkuit Mandalika memiliki penyulang yang saling terhubung, seperti penyulang Mandalika 1 dan Mandalika 2 yang terkoneksi dengan beberapa penyulang lainnya untuk memastikan sistem dapat berfungsi tanpa gangguan di seluruh area Sirkuit Mandalika.

Oleh karena itu, penelitian mengenai analisis keandalan sistem Zero Down Time pada Sirkuit Mandalika sangat penting untuk dilakukan. Penelitian ini bertujuan untuk memastikan bahwa semua kegiatan di Sirkuit Mandalika, termasuk ajang balapan internasional dapat berjalan dengan lancar tanpa adanya kendala listrik sehingga mendukung kelancaran acara internasional dan kegiatan yang membutuhkan suplai kelistrikan yang andal.

2. METODE

2.1. Metode Penelitian

Penelitian ini menggunakan Metode kuantitatif dengan jenis penelitian eksperimental berbasis simulasi. Penelitian ini merupakan pendekatan yang menguji keandalan sistem Zero Down Time melalui pemodelan sistem distribusi tenaga listrik dan di simulasi pada ETAP. Hal ini untuk menciptakan skenario atau kondisi tertentu pada simulasi. Untuk menganalisis bagaimana sistem beroperasi dan mendapatkan indeks keandalan SAIDI dan SAIFI.



Gambar 1. diagram alir penelitian

2.2. Zero Down Time (ZDT)

Zero Down Time (ZDT) adalah istilah yang merujuk pada sistem yang membutuhkan pasokan yang sangat andal, dan contoh sistem yang membutuhkan tingkat keandalan tinggi adalah sistem kelistrikan. Sistem kelistrikan diharapkan untuk selalu andal dan terus menyediakan pasokan listrik tanpa adanya gangguan atau pemadaman, baik itu karena masalah teknis maupun kebutuhan pemeliharaan [1].

2.3. Keandalan Sistem Distribusi

Keandalan sistem distribusi tenaga listrik merupakan parameter yang sangat penting untuk menjamin kontinuitas pasokan listrik kepada pelanggan. Jaringan distribusi adalah komponen yang paling dekat dan langsung berhubungan dengan pelanggan. Oleh karena itu, kualitas jaringan distribusi sangat mempengaruhi kualitas energi listrik yang diterima pelanggan. Keandalan pada sistem distribusi adalah indikator pelayanan energi listrik yang berhubungan dengan frekuensi pemadaman atau pemutusan aliran listrik ke pelanggan [6].

2.4. Standar Keandalan Sistem Distribusi

Nilai λ (lamda) peralatan menurut SPLN No. 59 Tahun 1985 ditunjukkan pada Tabel 1. (SPLN 59: 1985).

Tabel 1. Nilai λ dan R peralatan SPLN No 59 Tahun 1985

Komponen	failure rate λ (kegagalan/tahun)	Waktu Perbaikan r (jam)
SUTM (Saluran Udara Tegangan Menengah)	0,2	3
SKTM (Saluran Kabel Tegangan Menengah)	0,07	10
Trafo distribusi	0,005	10
Circuit Breaker	0,004	10

2.5. Standar Indeks Keandalan Jaringan Distribusi

Indeks keandalan jaringan distribusi 20 kV menurut IEEE Std 1366-2003 dan SPLN No.59 Tahun memiliki standar yang ditunjukkan pada Tabel 2 [13].

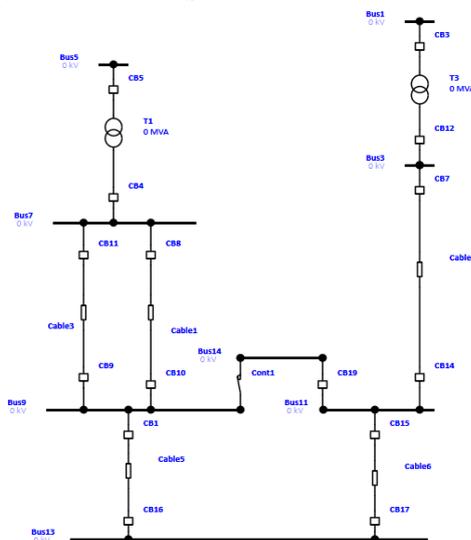
Tabel 2. Standar indeks keandalan IEEE dan SPLN.

Indeks Keandalan Sistem Distribusi	IEEE Std 1366-2003	SPLN No. 59 Tahun 1985
SAIDI (jam/pelanggan/tahun)	2,30	12,8
SAIFI (kali/pelanggan/tahun)	1,45	2,4

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Tugas akhir ini menganalisis keandalan jaringan distribusi sistem zero downtime pada Sirkuit Mandalika menggunakan Metode Markov dan simulasi software ETAP. Hasil perhitungan menggunakan Metode Markov dan simulasi ETAP akan dibandingkan dengan standar keandalan berdasarkan IEEE Std 1366-2003 dan SPLN No.59 tahun 1985, untuk mengetahui apakah nilai keandalan yang diperoleh mendekati standar tersebut. Area Sirkuit Mandalika disuplai oleh dua gardu induk yaitu Gardu Induk Kuta dan Gardu Induk Sengkol. Gardu induk kuta sebagai suplai utama yaitu penyulang Mandalika I dan penyulang Mandalika II. Gardu Induk Sengkol sebagai suplai cadangan (Back up) melalui penyulang MVTIC Mandalika.

3.1. Konisi Awal Sistem Zero Down Time Pada Sirkuit Mandalika



Gambar 2. Rangkaian Pengganti Sirkuit Mandalika

Jaringan distribusi pada Sirkuit Mandalika menggunakan Sistem Zero Down Time (ZDT) merupakan suatu konsep jaringan listrik yang dirancang tanpa adanya pemadaman saat terjadi pemindahan beban akibat gangguan. Jaringan distribusi di kawasan Sirkuit Mandalika juga memiliki penyulang yang saling terhubung, seperti penyulang Mandalika 1 dan Mandalika II merupakan jaringan distribusi 3 fase dimana seluruh trafo distribusi yang digunakan yaitu trafo 3 fase. Konstruksi jaringan distribusi terdiri dari saluran kabel tegangan menengah (SKTM) dan saluran udara tegangan menengah (SUTM) 20 kV

3.2. Menentukan Nilai kegagalan (λ), Durasi Gangguan (U) pada peralatan dan Saluran

Data yang diperlukan untuk mendapatkan nilai λ dan U adalah nilai failure rate dan waktu perbaikan (repair time) sesuai dengan Tabel 3. contoh perhitungan laju kegagalan (λ) dan durasi gangguan (U) pada Line1, yaitu:

Diketahui:

Panjang Saluran = 4,3 km

λ = failure rate peralatan = 0,2 kegagalan/tahun

r = waktu perbaikan = 3 jam

sehingga diperoleh nilai λ Line1, yaitu:

$$\lambda = \text{panjang saluran} \times \text{failure rate}$$

$$\lambda = 4,3 \times 0,2$$

$$\lambda = 0,86 \text{ kegagalan/tahun}$$

Nilai Durasi / U Line1 dapat dihitung yaitu:

$$U = \lambda \times r$$

$$U = 0,86 \times 3$$

$$U = 2,58 \text{ jam/tahun}$$

Nilai λ diperoleh dengan perkalian antara panjang saluran dengan failure rate SUTM berdasarkan standar PLN No.59 dapat dilihat pada Tabel 1. sehingga diperoleh hasil λ Sebesar 0,86 kegagalan/tahun. Nilai U diperoleh dengan perkalian nilai λ Line1 dengan nilai waktu perbaikan (r) berdasarkan standar PLN No.59, sehingga diperoleh hasil U sebesar 2,58 jam/tahun. Dilakukan perhitungan yang sama seperti pada perhitungan lamda (λ) dan durasi (U) pada seluruh saluran pada penyulang Sirkuit Mandalika, maka didapatkan hasil seperti pada Tabel 3.

Tabel 3. Nilai failure rate (λ) dan durasi gangguan saluran dan peralatan (U).

Komponen	Panjang (km)	Unit	Kegagalan/komponen - λ - (kegagalan/thn)	Kegagalan - λ - (kegagalan/thn)	Repair time -r- (Jam)	Durasi -U- (Jam/thn)
CB 1	-	1	0,004	0,004	10	0,04
CB 2	-	1	0,004	0,004	10	0,04
CB 3	-	1	0,004	0,004	10	0,04
CB 4	-	1	0,004	0,004	10	0,04
CB 5	-	1	0,004	0,004	10	0,04
CB 6	-	1	0,004	0,004	10	0,04
CB 7	-	1	0,004	0,004	10	0,04
CB 8	-	1	0,004	0,004	10	0,04
CB 9	-	1	0,004	0,004	10	0,04
CB 10	-	1	0,004	0,004	10	0,04
CB 11	-	1	0,004	0,004	10	0,04
CB 12	-	1	0,004	0,004	10	0,04
CB 13	-	1	0,004	0,004	10	0,04
CB14	-	1	0,004	0,004	10	0,04
Trafo 1	-	1	0,005	0,005	10	0,05
Trafo 2	-	1	0,005	0,005	10	0,05
Line 1	4,3	-	0,2	0,86	3	2,58
Line 2	4,3	-	0,2	0,86	3	2,58
Line 3	4,6	-	0,07	0,322	10	3,22
Line 4	4,6	-	0,07	0,322	10	3,22
Line 5	13,8	-	0,2	2,76	10	27,6
Line 6	2,3	-	0,07	0,161	10	1,61
Line 7	2,3	-	0,07	0,161	10	1,61



Gambar 3. Rangkaian Section1

Diketahui:

$\lambda_{CB} = 0,004$ kegagalan/tahun

$\lambda_{Trafo} = 0,005$ kegagalan/tahun

r_{CB} = 10 jam

r_{Trafo} = 10 jam

sehingga diperoleh nilai $\lambda_{Section1}$, yaitu:

$$\lambda_{Section1} = \lambda_{Seri}$$

$$\lambda_{Section1} = 0,004 + 0,005 + 0,004$$

$$\lambda_{Section1} = 0,013 \text{ kegagalan/tahun}$$

Nilai rSeri didapat, yaitu:

$$r_{seri} = \frac{\lambda_{CB} \times r_{CB} + \lambda_{Trafo} \times r_{Trafo} + \lambda_{CB} \times r_{CB}}{\lambda_{seri}}$$

$$r_{seri} = \frac{0,004 \times 10 + 0,005 \times 10 + 0,004 \times 10}{0,013}$$

$$r_{seri} = 10 \text{ jam}$$

Nilai $\mu_{Section1}$, yaitu:

$$\mu_{section1} = 1/r_{seri} \times 365 \times 24$$

$$\mu_{section1} = 1/10 \times 365 \times 24$$

$$\mu_{section1} = 876 \text{ jam/tahun}$$

Nilai λ total diperoleh dengan penjumlahan dari nilai failure rate komponen yang disusun secara seri yaitu 2 buah Circuit breaker dan Transformator berdasarkan standar PLN No.59 dapat dilihat pada Tabel 2.1 sehingga diperoleh hasil λ total Sebesar 0,013 kegagalan/tahun. Nilai μ total diperoleh dengan $1/r_{seri}$ dikali dengan 365 dikali 24, sehingga diperoleh hasil μ total sebesar 876 jam/tahun, dengan dilakukan perhitungan yang sama seperti pada perhitungan lamda (λ) dan durasi (μ) pada seluruh section pada penyulang Sirkuit Mandalika, maka didapatkan hasil seperti pada Tabel 4.

Tabel 4. Nilai kegagalan (λ) dan Laju Perbaikan (μ).

Section	Komponen	Panjang (km)	Kegagalan - λ - (kegagalan/thn)	Repar time -r- (Jam)	Laju Perbaikan - μ - (jam/thn)
1	CB,Trafo,CB	-	0,013	10	876
2	CB,Trafo,CB	-	0,013	10	876
3	CB,CB,SKTM	4,6	0,33	10	876
4	CB,CB,SKTM	4,6	0,33	10	876
5	CB,CB,MVTIC	13,8	2,768	10	876
6	CB,CB,SKTM	2,3	0,169	10	876
7	CB,CB,SKTM	2,3	0,169	10	876

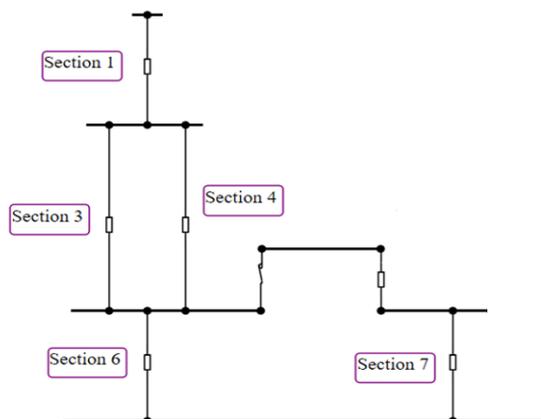
Tabel 4. merupakan hasil perhitungan laju kegagalan total (λ) dan laju perbaikan total (μ) pada masing-masing section, berdasarkan komponen yang disusun secara seri, seperti CB, Trafo, SUTM dan SKTM. Nilai λ dinyatakan dalam kegagalan/tahun, sedangkan μ dalam satuan jam/tahun. Section5 memiliki nilai laju kegagalan (λ) tertinggi yaitu sebesar 2,768 kegagalan/tahun. Nilai laju perbaikan (μ) sama untuk semua section yaitu 876 jam/tahun.

3.3. Keandalan Sirkuit Mandalika Menggunakan Metode Markov

3.3.1 Menentukan State Saluran dan Load point yang Mengalami Kegagalan

a. Sebelum dilakukan Backup MVTIC Mandalika

Rangkaian single Line diagram pada sirkuit mandalika sebelum di back up MVTIC Mandalika yang terdiri dari 5 komponen, 16 state dan 8 buah load point. Tabel 4.5 Merupakan penentuan load point mana saja yang mengalami kegagalan atau tidak. Gambar rangkaian pengganti sirkuit mandalika sebelum dilakukan back up MVTIC dapat dilihat pada Gambar 3.3.



Gambar 4. Rangkaian Pengganti Persection sebelum back up MVTIC

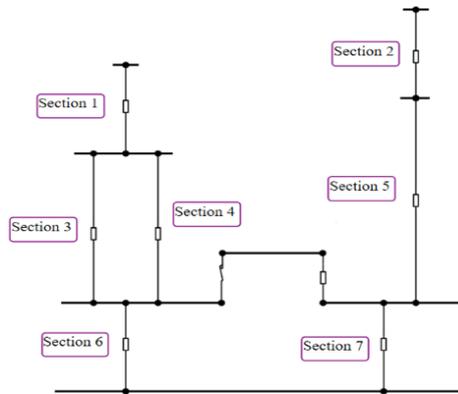
Tabel 5 Penentuan Saluran yang mengalami kegagalan sebelum back up MVTIC

Section	LP1	LP2	LP3	LP4	LP5	LP6	LP7	LP8
N	-	-	-	-	-	-	-	-
1	x	x	x	x	x	x	x	x
3	-	-	-	-	-	-	-	-
4	-	-	-	-	-	-	-	-
6	-	-	-	-	-	-	-	-
7	-	-	-	-	-	-	-	-
1_3	x	x	x	x	x	x	x	x
1_4	x	x	x	x	x	x	x	x
1_6	x	x	x	x	x	x	x	x
1_7	x	x	x	x	x	x	x	x
3_4	x	x	x	x	x	x	x	x
3_6	-	-	-	-	-	-	-	-
3_7	-	-	-	-	-	-	-	-
4_6	-	-	-	-	-	-	-	-
4_7	-	-	-	-	-	-	-	-
6_7	x	x	x	x	x	x	x	x

Tabel 5. menunjukkan titik beban (load point) yang mengalami gangguan akibat kegagalan pada masing masing section sebelum penerapan backup dari penyulang MVTIC. Setiap tanda (X) pada tabel menandakan load point yang terdampak oleh gangguan yang terjadi pada section. Misalnya, ketika section 1 mengalami gangguan LP1-LP8 tidak menerima pasokan listrik. Tabel 4.5 ini dapat memberikan gambaran awal mengenai keandalan sistem sebelum dilakukan backup MVTIC pada sirkuit Mandalika.

b. Setelah dilakukan Backup MVTIC Mandalika

Rangkaian single Line diagram pada sirkuit mandalika sesudah dilakukan Backup MVTIC Mandalika yang terdiri dari 7 komponen, 29 state dan 8 buah load point. Tabel 4.6 Merupakan penentuan load point mana saja yang mengalami kegagalan atau tidak. Gambar rangkaian pengganti sirkuit mandalika sesudah dilakukan back up MVTIC dapat dilihat pada Gambar 3.4.



Gambar 5. Rangkaian Pengganti Persection sesudah Back up MVTIC

Tabel 6. Penentuan saluran yang mengalami kegagalan sesudah Backup MVTIC

Section	LP1	LP2	LP3	LP4	LP5	LP6	LP7	LP8
N	-	-	-	-	-	-	-	-
1	-	-	-	-	-	-	-	-
2	-	-	-	-	-	-	-	-
3	-	-	-	-	-	-	-	-
4	-	-	-	-	-	-	-	-
5	-	-	-	-	-	-	-	-
6	-	-	-	-	-	-	-	-
7	-	-	-	-	-	-	-	-
1_2	x	x	x	x	x	x	x	x
1_3	-	-	-	-	-	-	-	-
1_4	-	-	-	-	-	-	-	-
1_5	x	x	x	x	x	x	x	x
1_6	-	-	-	-	-	-	-	-
1_7	-	-	-	-	-	-	-	-
2_3	-	-	-	-	-	-	-	-
2_4	-	-	-	-	-	-	-	-
2_5	-	-	-	-	-	-	-	-
2_6	-	-	-	-	-	-	-	-
2_7	-	-	-	-	-	-	-	-
3_4	-	-	-	-	-	-	-	-
3_5	-	-	-	-	-	-	-	-
3_6	-	-	-	-	-	-	-	-
3_7	-	-	-	-	-	-	-	-
4_5	-	-	-	-	-	-	-	-
4_6	-	-	-	-	-	-	-	-
4_7	-	-	-	-	-	-	-	-
5_6	-	-	-	-	-	-	-	-
5_7	-	-	-	-	-	-	-	-
6_7	x	x	x	x	x	x	x	x

Tabel 6. menunjukkan titik beban (load point) yang mengalami gangguan akibat kegagalan pada masing masing section dengan penerapan backup dari penyulang MVTIC. Setiap tanda (X) pada tabel menandakan load point yang terdampak oleh gangguan yang terjadi pada section. Misalnya, ketika section 1_2 mengalami

gangguan LP1-LP8 tidak menerima pasokan listrik. Tabel 3.4 dapat memberikan gambaran mengenai keandalan sistem setelah diterapkannya backup MVTIC pada sirkuit Mandalika.

3.3.2 Menentukan Panjang Saluran, Probabilitas Kegagalan dan Menghitung Nilai Saifi dan Saifi

a. Sebelum dilakukan Backup MVTIC Mandalika

Nilai laju kegagalan total λ dan laju perbaikan total μ . Langkah selanjutnya adalah menghitung nilai probabilitas yang akan digunakan untuk menentukan indeks keandalan Saifi dan Saidi pada setiap Load point pada setiap saluran Sirkuit Mandalika. Dalam perhitungan pembilang, setiap saluran yang mengalami kegagalan akan digantikan dengan nilai λ , sedangkan saluran yang tidak mengalami kegagalan akan diganti dengan nilai μ . Perhitungan pada bagian penyebut dilakukan dengan mengalikan jumlah seluruh nilai λ dan μ sebanyak jumlah komponen dengan nilai yang bersifat konstan untuk setiap saluran. Diperoleh nilai untuk state1 (probabilitas1).

$$p1 = \frac{\mu_1 \times \mu_3 \times \mu_4 \times \mu_6 \times \mu_7}{(\lambda_1 + \mu_1) \times (\lambda_3 + \mu_3) \times (\lambda_4 + \mu_4) \times (\lambda_6 + \mu_6) \times (\lambda_7 + \mu_7)}$$

$$= \frac{876 \times 876 \times 876 \times 876 \times 876}{(0,013 + 876) \times (0,33 + 876) \times (0,33 + 876) \times (0,169 + 876) \times (0,169 + 876)}$$

$$= 0,9988$$

$$p7 = \frac{\lambda_1 \times \lambda_3 \times \mu_4 \times \mu_6 \times \mu_7}{(\lambda_1 + \mu_1) \times (\lambda_3 + \mu_3) \times (\lambda_4 + \mu_4) \times (\lambda_6 + \mu_6) \times (\lambda_7 + \mu_7)}$$

$$= \frac{0,013 \times 0,33 \times 876 \times 876 \times 876}{(0,013 + 876) \times (0,33 + 876) \times (0,33 + 876) \times (0,169 + 876) \times (0,169 + 876)}$$

$$= 0,00000000558$$

Pada perhitungan pembilang, setiap saluran yang mengalami kegagalan akan digantikan dengan nilai λ . Sedangkan saluran yang tidak mengalami kegagalan akan diganti dengan nilai μ . Perhitungan pada bagian penyebut dilakukan dengan mengalikan jumlah seluruh nilai λ dan μ sebanyak jumlah komponen yang nilainya bersifat konstan untuk setiap saluran. Sehingga didapatkan nilai probabilitas untuk state1 yaitu 0,9988.

Tabel 7. Perhitungan Probabilitas Saluran sebelum back up MVTIC

State	Section	Kegagalan	Laju Perbaikan μ	Probabilitas
1	N			0,998846735
2	1	0,013	876	1,48231E-05
3	3	0,33	876	0,000376278
4	4	0,33	876	0,000376278
5	6	0,169	876	0,0001927
6	7	0,169	876	0,0001927
7	1_3			5,58403E-09
8	1_4			5,58403E-09
9	1_6			2,8597E-09
10	1_7			2,8597E-09
11	3_4			1,41749E-07
12	3_6			7,25924E-08
13	3_7			7,25924E-08
14	4_6			7,25924E-08
15	4_7			7,25924E-08
16	6_7			3,71761E-08
TOTAL				1

Langkah akhir dalam analisis keandalan jaringan distribusi dengan menggunakan Metode Markov adalah menghitung nilai indeks keandalan SAIFI dan SAIDI pada tiap load point. Nilai SAIFI dan SAIDI total diperoleh dengan menjumlahkan hasil perhitungan dari seluruh load point.

$$SAIFI = \frac{(\lambda_i \times N_i)}{\Sigma N}$$

$$= \frac{0,0133132 \times 3}{12}$$

$$= 0,0033283$$

$$SAIDI = \frac{(U_i \times N_i)}{\Sigma N}$$

$$= \frac{(0,0000150 \times 3)}{12}$$

$$= 0,000003754$$

b. Setelah dilakukan Backup MVTIC Mandalika

Nilai laju kegagalan total λ dan laju perbaikan total μ . Langkah selanjutnya adalah menghitung nilai probabilitas yang akan digunakan untuk menentukan indeks keandalan Saifi dan Saidi pada setiap Load point pada setiap saluran Sirkuit Mandalika. Dalam perhitungan pembilang, setiap saluran yang mengalami kegagalan akan digantikan dengan nilai λ . Sedangkan saluran yang tidak mengalami kegagalan akan diganti dengan nilai μ . Perhitungan pada bagian penyebut dilakukan dengan mengalikan jumlah seluruh nilai λ dan μ sebanyak jumlah komponen dengan nilai yang bersifat konstan untuk setiap saluran. Sehingga diperoleh nilai untuk state1 (probabilitas1)

$$p1 = \frac{\mu_1 \times \mu_2 \times \mu_3 \times \mu_4 \times \mu_5 \times \mu_6 \times \mu_7}{(\lambda_1 + \mu_1) \times (\lambda_2 + \mu_2) \times (\lambda_3 + \mu_3) \times (\lambda_4 + \mu_4) \times (\lambda_5 + \mu_5) \times (\lambda_6 + \mu_6) \times (\lambda_7 + \mu_7)}$$

$$= \frac{876 \times 876 \times 876 \times 876 \times 876 \times 876 \times 876}{(0,013 + 876) \times (0,013 + 876) \times (0,33 + 876) \times (0,33 + 876) \times (2,768 + 876) \times (0,169 + 876) \times (0,169 + 876)}$$

$$= 0,99956$$

$$p9 = \frac{\lambda_1 \times \lambda_2 \times \mu_3 \times \mu_4 \times \mu_5 \times \mu_6 \times \mu_7}{(\lambda_1 + \mu_1) \times (\lambda_2 + \mu_2) \times (\lambda_3 + \mu_3) \times (\lambda_4 + \mu_4) \times (\lambda_5 + \mu_5) \times (\lambda_6 + \mu_6) \times (\lambda_7 + \mu_7)}$$

$$= \frac{0,013 \times 0,013 \times 876 \times 876 \times 876 \times 876 \times 876}{(0,013 + 876) \times (0,013 + 876) \times (0,33 + 876) \times (0,33 + 876) \times (2,768 + 876) \times (0,169 + 876) \times (0,169 + 876)}$$

$$= 0,00000000219$$

Pada perhitungan pembilang, setiap saluran yang mengalami kegagalan akan digantikan dengan nilai λ , sedangkan saluran yang tidak mengalami kegagalan akan diganti dengan nilai μ . Perhitungan pada bagian penyebut dilakukan dengan mengalikan jumlah seluruh nilai λ dan μ sebanyak jumlah komponen, yang nilainya bersifat konstan untuk setiap saluran, sehingga didapatkan nilai probabilitas untuk state1 yaitu 0,99956.

Langkah akhir dalam analisis keandalan jaringan distribusi dengan menggunakan Metode Markov adalah menghitung nilai indeks keandalan SAIFI dan SAIDI pada tiap load point. Nilai SAIFI dan SAIDI total diperoleh dengan menjumlahkan hasil perhitungan dari seluruh load point.

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

$$= \frac{0,00014711 \times 3}{12}$$

$$= 0,00003677$$

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

$$= \frac{0,000000083968 \times 3}{12}$$

$$= 0,00000002099$$

3.3.3 Nilai SAIFI dan SAIDI Pada Sirkuit Mandalika

Indeks keandalan SAIFI dan SAIDI sistem jaringan distribusi Sirkuit Mandalika berdasarkan Metode Markov dapat dilihat pada Tabel 8.

Tabel 8. Nilai SAIFI dan SAIDI menggunakan Metode Markov

Metode Markov	Indeks Keandalan			
	Sebelum di back up MVTIC		Setelah di back up MVTIC	
	SAIFI	SAIDI	SAIFI	SAIDI
	0,01 (Kali/plggn/thn)	0,13 (jam/plggn/thn)	0,0001 (Kali/plggn/thn)	0,0007 (Jam/plggn/thn)

Nilai akhir indeks keandalan sebelum back up dan setelah back up oleh MVTIC pada Sirkuit Mandalika menggunakan Metode Markov. Sebelum backup nilai SAIFI yang didapatkan sebelum Backup MVTIC sebesar 0,01 kali/pelanggan/tahun. Artinya rata-rata setiap pelanggan mengalami gangguan atau pemadaman sebanyak 0,01 kali dalam 1 tahun. Sementara itu, nilai SAIDI yang diperoleh adalah 0,13 jam/pelanggan/tahun, yang menunjukkan bahwa rata-rata pelanggan mengalami durasi gangguan selama 0,13 jam dalam 1 tahun.

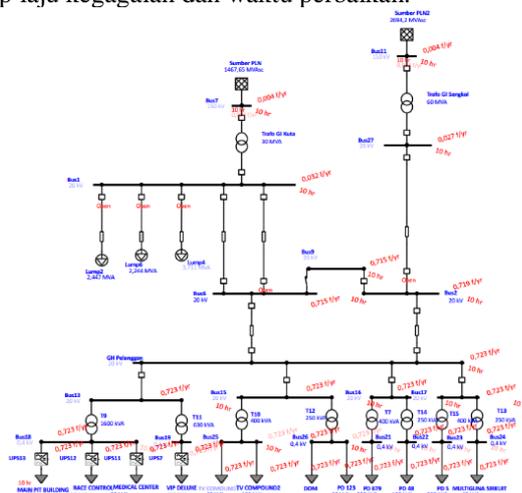
Setelah sistem mendapatkan backup dari MVTIC, terjadi penurunan signifikan pada kedua indeks tersebut. Nilai SAIFI turun menjadi 0,0001 kali/pelanggan/tahun. Menunjukkan bahwa frekuensi gangguan

yang dialami pelanggan hampir tidak ada. Begitu juga dengan nilai SAIDI yang menurun menjadi 0,0007 jam/pelanggan/tahun, menandakan bahwa durasi gangguan menjadi sangat singkat.

Nilai SAIFI dan SAIDI tersebut kemudian dibandingkan dengan standar IEEE Std 1366-2003. Hasil perbandingan menunjukkan bahwa indeks keandalan masih berada di bawah standar. Sehingga dapat disimpulkan bahwa sistem distribusi pada Sirkuit Mandalika memiliki tingkat keandalan yang tinggi karena masih berada dibawah standar IEEE Std 1366-2003.

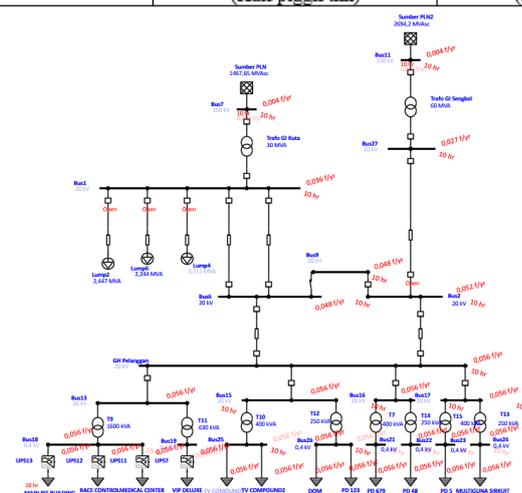
3.3.4 Simulasi keandalan (Reliability Assessment)

Software ETAP versi 21.0.1 digunakan untuk melakukan simulasi terhadap indeks keandalan sehingga diperoleh nilai SAIDI dan SAIFI pada kawasan Sirkuit Mandalika. Pembuatan diagram satu garis (single Line diagram) dari Sirkuit Mandalika juga dilakukan menggunakan software ETAP. Penilaian indeks keandalan pada Sirkuit Mandalika dilakukan melalui fitur Reliability assessment yang menghasilkan output berupa laporan keandalan (Reliability Assessment Report) yang berisi nilai SAIDI dan SAIFI. Data yang dimasukkan ke dalam simulasi mencakup laju kegagalan dan waktu perbaikan.



Gambar 6. Running Reliability Index Assessment Mandalika 1
Tabel 9. Hasil Metode Reliability Index Assessment Mandalika 1

ETAP	Indeks Keandalan	
	SAIFI 0,72 (Kali/plggn/thn)	SAIDI 7,23 (Jam/plggn/thn)



Gambar 7. Running Reliability Index Assessment Sebelum Back up MVTIC
Tabel 10. Hasil Metode Reliability Index Assessment Sebelum Back up MVTIC

ETAP	Indeks Keandalan	
	SAIFI 0,05 (Kali/plggn/thn)	SAIDI 0,55 (Jam/plggn/thn)

batas 2,30 jam/pelanggan/tahun dan SAIFI 1,45 kali/pelanggan/tahun. Penerapan backup MVTIC menyebabkan SAIDI dan SAIFI mengalami penurunan yang signifikan. Nilai SAIDI dan SAIFI mengalami penurunan setelah penerapan Backup MVTIC masing-masing menjadi 0,0001 jam/pelanggan/tahun dan 0,0007 kali/pelanggan/tahun menggunakan Metode Markov. Dengan menggunakan software ETAP nilai SAIDI dan SAIFI juga mengalami penurunan setelah penerapan backup MVTIC masing-masing menjadi 0,08 jam/pelanggan/tahun dan 0,008 kali/pelanggan/tahun. Penurunan nilai SAIDI dan SAIFI ini setara dengan peningkatan keandalan masing-masing sebesar 99,92% dan 93% menggunakan Metode Markov serta 85,45% dan 84% menggunakan software ETAP. Hal ini menunjukkan penerapan backup MVTIC sangat efektif dalam meningkatkan keandalan sistem distribusi pada Sirkuit Mandalika

REFERENSI

- [1] Alam, M. S. (2024). Analisis Koordinasi Proteksi Penyulang Kuta, Novotel, dan Teluk Awang dengan Incoming Trafo dan Pengaruhnya Terhadap Keandalan Distribusi Zero Down Time Sirkuit Mandalika. Institut Teknologi Sepuluh Nopember, Surabaya.
- [2] Andika, Destriana, & Windarta, J. (2022). Menunjang Program Zero Down Time Di Kawasan Kota Surakarta. 11(4), 146–151.0011 Markov proses_ (1).pdf. (n.d.).
- [3] Aruna, S. B., Suchitra, D., Rajarajeswari, R., & Fernandez, S. G. (2021). A Comprehensive Review on the Modern Power System Reliability Assessment. *International Journal of Renewable Energy Research*, 11(4), 1734–1747. <https://doi.org/10.20508/IJRER.V11I4.12480.G8326>
- [4] Azzam, A. (2024). Analisis Keandalan Sistem Jaringan Distribusi 20 Kv Pt. Pln (Persero) Up3 Metro Menggunakan Metode Reliability Network Equivalent Approach (Rnea). *Jurnal Informatika Dan Teknik Elektro Terapan*, 12(1). <https://doi.org/10.23960/jitet.v12i1.3813>
- [5] Daniati, E. R., Tharo, Z., & Anisah, S. (2024). Analisis Penambahan Trafo Sisip Pada Jaringan 20 Kv Dalam Meningkatkan Mutu Tegangan. *INTECOMS: Journal of Information Technology and Computer Science*, 7(2), 454–461. <https://doi.org/10.31539/intecom.v7i2.9820>
- [6] Suripto, I. S. M. E. (2017). Sistem Tenaga Listrik. *ELTEK*, Vol 11 Nomor 01, 1–293.
- [7] Harahap, R., Farizi, H., Kasim, S. T., & Syafruddin. (2022). Analisis Indeks Keandalan Pada Jaringan. *Semnastek*, 140–150.
- [8] Hayusman, L. M., Hidayat, T., Saleh, C., Wartana, I. M., & Herbasuki, T. (2017). Pelatihan Software ETAP (Electrical Transient Analyzer Program) Bagi Siswa dan Guru SMK Nasionl Malang. *Industri Inovatif: Jurnal Teknik Industri*, 7(1), 7–11. <https://ejournal.itn.ac.id/index.php/industri/article/view/856>
- [9] Haz, F., Arya Mustopa, Giri Angga Setia, Dede Furqon, Atik Charisma, & M. Reza Hidayat. (2024). Reliability Index Assessment-Section Technique pada Distribusi Listrik Penyulang Suci Menggunakan Software ETAP. *Jurnal Teknik: Media Pengembangan Ilmu Dan Aplikasi Teknik*, 23(1), 61–74. <https://doi.org/10.55893/jt.vol23no1.528>
- [10] Nabila, P. I. (2022). Analisis proteksi dan keandalan pada sistem distribusi di kawasan Zero Down Time Area Sirkuit Mandalika. Jurusan Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Mataram
- [11] Fitratul, K. (2024). Analisis keandalan jaringan distribusi 20 kV penyulang Batujai menggunakan Metode FMEA dan Metode Markov. Jurusan Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Mataram.
- [12] Pln, P. T., Area, P., Rura, D. L., Patras, L. S., Silimang, S., Elektro, T., Sam, U., Manado, R., & Manado, J. K. B. (n.d.). Evaluasi Keandalan Sistem Distribusi Menggunakan Indeks SAIFI dan SAIDI Pada.
- [13] SPLN 59. (1985). Keandalan Pada Sistem Distribusi 20 kV dan 6kV.