

# Prediksi Keandalan Sistem Jaringan Distribusi 20KV Gardu Induk Kebumen Pada Penyulang KBM02

Iman Yoga Pratama<sup>1\*</sup>, Agung Trihasto<sup>1</sup>, Deria Pravitasari<sup>1</sup>, Andriyatna Agung Kurniawan<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Tidar

Jl. Kapten Suparman No.39, Potrobangsari, Kec. Magelang Utara, Kota Magelang, Jawa Tengah 56116

E-mail: [iman.yoga.pratama@students.untidar.ac.id](mailto:iman.yoga.pratama@students.untidar.ac.id)

Naskah Masuk: 15 Juli 2025; Diterima: 27 Agustus 2025; Terbit: 31 Agustus 2025

---

## ABSTRAK

---

**Abstrak** - Keandalan sistem distribusi tenaga listrik sangat penting karena langsung memengaruhi kontinuitas pasokan listrik kepada konsumen, khususnya pada Penyulang KBM02 Gardu Induk Kebumen yang menyuplai beban penting rumah sakit, industri, dan pusat pemerintahan. Penelitian ini bertujuan untuk memprediksi tingkat keandalan jaringan distribusi 20 kV pada penyulang KBM02 tahun 2025 menggunakan metode Rantai Markov. Metode penelitian meliputi pengumpulan data gangguan dan perbaikan tahun 2024, uji validitas data dengan simpangan rata-rata, perhitungan MTTF, MTTR, laju kegagalan dan laju perbaikan, pemodelan dua keadaan Markov (andal dan gangguan), serta perhitungan indeks keandalan SAIFI, SAIDI, dan CAIDI berdasarkan hasil prediksi gangguan. Hasil perhitungan indeks keandalan tahun 2024 menunjukkan nilai SAIFI sebesar 1,41 kali/pelanggan/tahun, nilai SAIDI sebesar 2,67 jam/pelanggan/ tahun, dan nilai CAIDI sebesar 1,89 jam/gangguan yang mengindikasikan bahwa penyulang KBM02 dalam kondisi andal. Hasil prediksi keandalan tahun 2025 yang diperoleh menggunakan metode Rantai Markov menunjukkan nilai SAIFI sebesar 0,9 kali/pelanggan/tahun, nilai SAIDI sebesar 1,7 jam/pelanggan/tahun, dan nilai CAIDI sebesar 1,89 jam/gangguan. Nilai-nilai tersebut menunjukkan peningkatan keandalan dibandingkan tahun sebelumnya dan sudah sesuai dengan standar yang ditetapkan oleh SPLN.

**Kata kunci:** Keandalan, Rantai Markov, SAIFI, SAIDI, CAIDI.

---

## ABSTRACT

---

**Abstract** - The reliability of the electric power distribution system is critical because it directly affects the continuity of electricity supply to consumers, especially at the KBM02 Feeder of the Kebumen Substation which supplies important loads to hospitals, industries, and government centers. This study aims to predict the reliability level of the 20 kV distribution network at the KBM02 feeder in 2025 using the Markov Chain method. The research methods include collecting disturbance and repair data in 2024, testing the validity of the data with the average deviation, calculating MTTF, MTTR, failure rate and repair rate, modeling two Markov states (reliable and disturbance), and calculating the reliability indices SAIFI, SAIDI, and CAIDI based on the disturbance prediction results. The results of the calculation of the reliability index in 2024 show a SAIFI value of 1.41 times/customer/year, a SAIDI value of 2.67 hours/customer/year, and a CAIDI value of 1.89 hours/ disruption which indicates that the KBM02 feeder is in a reliable condition. The 2025 reliability prediction results obtained using the Markov Chain method show a SAIFI value of 0.9 times/customer/year, a SAIDI value of 1.7 hours/customer/year, and a CAIDI value of 1.89 hours/disruption. These values indicate an increase in reliability compared to the previous year and are in accordance with the standards set by the SPLN

**Keywords:** Reliability, Markov Chain, SAIFI, SAIDI, CAIDI.

Copyright © 2025 Jurnal Teknik Elektro dan Komputasi (ELKOM)

---

## 1. PENDAHULUAN

Sistem distribusi tenaga listrik merupakan bagian akhir dari sistem tenaga listrik yang secara langsung menghubungkan energi listrik ke konsumen. Keandalan sistem distribusi menjadi aspek penting karena sangat memengaruhi kontinuitas suplai energi kepada pelanggan. Berdasarkan Undang-Undang No.30 Tahun 2009, penyedia tenaga listrik wajib memberikan pelayanan dengan standar mutu dan keandalan yang memadai [1]. Untuk menilai tingkat keandalan tersebut, digunakan indeks-indeks seperti SAIFI, SAIDI, dan CAIDI yang mengukur frekuensi dan durasi pemadaman listrik [4].

Penyulang KBM02 di Gardu Induk Kebumen merupakan salah satu penyulang penting karena menyuplai beban kritikal seperti rumah sakit, industri, dan instansi pemerintahan. Jumlah total pelanggan penyulang ini tercatat sebanyak 26.733 pelanggan, dengan jaringan distribusi tegangan menengah sepanjang 24,5 KMS dan jaringan tegangan rendah sepanjang 95,6 KMS, serta didukung oleh 183 unit trafo distribusi. Gangguan yang terjadi pada penyulang ini dapat menimbulkan dampak signifikan, baik dari sisi ekonomi maupun layanan publik. Oleh karena itu, diperlukan metode yang mampu memprediksi keandalan sistem secara akurat dan berbasis data historis. Metode Rantai Markov menjadi salah satu solusi karena mampu memodelkan sistem stokastik dan menghitung probabilitas transisi antar kondisi sistem dari waktu ke waktu dengan mempertimbangkan sifat memori pendek serta keadaan masa depan hanya bergantung pada keadaan saat ini [5].

Penelitian ini bertujuan untuk memprediksi keandalan sistem jaringan distribusi 20 kV pada Penyulang KBM02 untuk tahun 2025 dengan menggunakan metode Rantai Markov. Melalui data gangguan tahun 2024, dilakukan perhitungan nilai MTTF, MTTR, laju kegagalan dan laju perbaikan, untuk kemudian digunakan dalam membentuk matriks transisi probabilitas. Model Markov juga memungkinkan identifikasi kondisi steady state sistem, yang menggambarkan keadaan jangka panjang sistem distribusi. Dari hasil prediksi gangguan tersebut, akan dihitung nilai indeks keandalan SAIFI, SAIDI, dan CAIDI, yang selanjutnya dibandingkan dengan standar SPLN dan IEEE sebagai acuan kelayakan keandalan sistem.

**2. METODE PENELITIAN**

Langkah-langkah penelitian yang dijalankan pada penelitian ini pada gambar 1 sebagai berikut:



Gambar 1. Diagram Alir Penelitian

Penelitian yang dilakukan ini merupakan tipe penelitian kuantitatif yang menganalisis data melalui perhitungan matematis. Perhitungan tersebut difokuskan pada prediksi gangguan dengan Rantai Markov dan menghitung nilai indeks keandalan sistem distribusi penyulang KBM02.

a. *System Average Interruption Frequency Index (SAIFI)*

SAIFI adalah indeks keandalan yang merupakan jumlah dari perkalian frekuensi padam dan pelanggan padam dibagi dengan jumlah pelanggan yang dilayani.. Secara matematis dapat dilihat pada persamaan 1 berikut:

$$SAIFI = \frac{\sum \lambda_i N_i}{N_i} \text{ (kali/pelanggan/tahun)} \tag{1}$$

$$SAIFI = \frac{\text{Jumlah perkalian frekuensi padam dan pelanggan padam}}{\text{Jumlah Pelanggan}}$$

keterangan:

- $\lambda_i$  = angka kegagalan rata-rata dan frekuensi pemadaman
- $N_i$  = Jumlah pelanggan

b. *Sistem Average Interruption Duration Index (SAIDI)*

SAIDI adalah indeks keandalan yang merupakan jumlah dari perkalian lama padam dan pelanggan padam dibagi dengan jumlah pelanggan yang dilayani. Secara matematis dapat dilihat pada persamaan 2 berikut:

$$SAIDI = \frac{\sum U_i N_i}{N_i} \text{ (jam/pelanggan/tahun)} \tag{2}$$

$$SAIDI = \frac{\text{Jumlah perkalian jam padam dan pelanggan padam}}{\text{Jumlah pelanggan}}$$

keterangan:

- $U_i$  = Waktu padam pelanggan dan jumlah jam padam pelanggan
- $N_i$  = Jumlah pelanggan

c. *Customer Average Interruption Duration Index (CAIDI)*

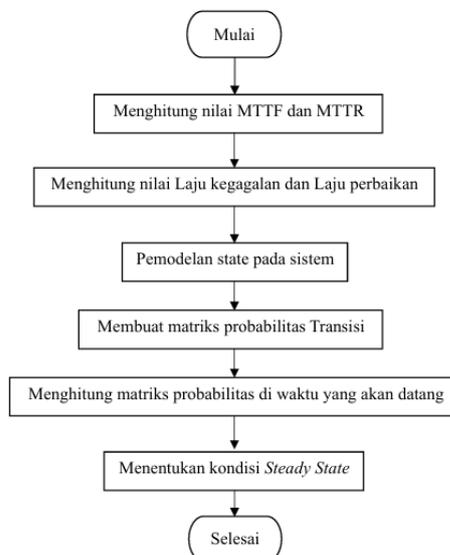
CAIDI adalah indikator keandalan yang menentukan berapa lama suatu gangguan mempengaruhi pelanggan. Secara matematis dapat dilihat pada persamaan 3 berikut:

$$CAIDI = \frac{SAIDI}{SAIFI} \tag{3}$$

keterangan:

- SAIDI = indeks rata-rata durasi pemadaman
- SAIFI = indeks rata-rata frekuensi pemadaman

Untuk menghitung prediksi gangguan pada jaringan distribusi Penyulang KBM02 dilakukan dengan menggunakan metode Rantai Markov. Berikut ini langkah langkah perhitungan dengan Rantai Markov pada gambar 2:



Gambar 2. Diagram pemodelan Markov

Banyak faktor yang harus diketahui dan dihitung sebelum melakukan perhitungan analisa keandalan antara lain MTTF, MTTR, Laju Kegagalan, dan Laju Perbaikan.

a. *Mean Time To Failure*

*Mean Time To Failure* (MTTF) adalah waktu rata-rata kegagalan yang terjadi selama beroperasinya suatu sistem, dapat dirumuskan pada persamaan 4:

$$MTTF = \frac{T_1+T_2+T_3+\dots+T_n}{n} \quad (4)$$

keterangan:

T = waktu operasi (*up time*)

n = jumlah kegagalan

b. *Mean Time To Repair*

*Mean Time To Repair* (MTTR) adalah waktu rata-rata yang diperlukan untuk melakukan perbaikan terhadap terjadinya kegagalan suatu sistem yang dapat dirumuskan pada persamaan 5:

$$MTTR = \frac{L_1+L_2+L_3+\dots+L_n}{N} \quad (5)$$

L = waktu perbaikan (*down time*)

N = jumlah perbaikan

c. Laju Kegagalan

Laju kegagalan adalah frekuensi suatu sistem/komponen gagal bekerja, biasanya dilambangkan dengan  $\lambda$  (lambda), laju kegagalan dari suatu sistem biasanya tergantung dari waktu tertentu selama sistem tersebut bekerja. Rumus laju kegagalan pada persamaan 6:

$$\lambda = \frac{1}{MTTF} \quad (6)$$

Semakin besar nilai  $\lambda$  maka semakin jelek keandalan suatu sistem/komponen tersebut.

d. Laju Perbaikan

Laju perbaikan atau *Downtime rate* adalah frekuensi lamanya suatu sistem/komponen dalam masa perbaikan (kondisi OFF). Rumus laju perbaikan pada persamaan 7:

$$\mu = \frac{1}{MTTR} \quad (7)$$

Jadi semakin besar nilai  $\mu$  maka semakin cepat pula waktu perbaikannya yang berarti semakin bagus nilai keandalan suatu sistem tersebut.

Tahapan dalam perhitungan Rantai Markov terdiri dari beberapa tahap yaitu:

1. Pemodelan Matriks.

Dalam kasus ini sistem memiliki dua status yaitu *State 0* (kondisi normal/andal) dan *State 1* (kondisi gangguan)

2. Menyusun matriks peluang transisi.

Rantai Markov waktu diskrit dapat dituliskan dalam sebuah matriks probabilitas transisi satu langkah dengan menggunakan nilai laju kegagalan dan laju perbaikan:

$$P = \begin{bmatrix} 1 - \lambda & \lambda \\ \mu & 1 - \mu \end{bmatrix}$$

3. Menyusun matriks peluang transisi n Langkah.

Untuk dapat membuat matriks probabilitas transisi n Langkah menggunakan persamaan berikut:

$$\pi^n = \pi^0 \cdot P^n \quad (8)$$

4. Menentukan *steady state* sampai keadaan tidak berubah atau konsisten.

Matriks probabilitas transisi yang memiliki peluang *steady state* berguna untuk menghitung peluang terjadinya berbagai kejadian pada jangka waktu yang lama.

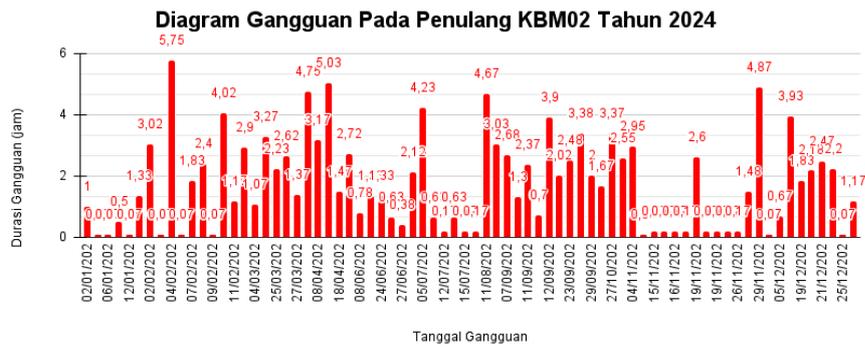
Membuat hitungan limiting probability dan *steady state* hingga menjadi prediksi dari Rantai Markov.

Perhitungan indeks keandalan jaringan distribusi Penyulang KBM02 tahun 2025 dilakukan dengan menghitung nilai SAIDI, SAIFI, dan CAIDI berdasarkan hasil prediksi gangguan menggunakan metode Rantai Markov. Nilai-nilai tersebut kemudian dibandingkan dengan hasil sebelum analisis serta dibandingkan dengan standar keandalan yang ditetapkan oleh SPLN 1986 dan IEEE STD 2003. Perbandingan ini bertujuan untuk mengevaluasi apakah tingkat keandalan jaringan sudah sesuai dengan ketentuan desain dan kinerja sistem distribusi. Jika hasil perhitungan tidak memenuhi standar, maka dilakukan evaluasi dan diberikan rekomendasi perbaikan sebagai upaya peningkatan keandalan, meskipun sifatnya opsional.

**3. HASIL DAN PEMBAHASAN**

**3.1. Data Gangguan Penyulang KBM02 Tahun 2024**

Penyulang KBM02 memiliki jaringan distribusi listrik yang luas, terdiri dari 24,5 KMS saluran tegangan menengah dan 95,6 KMS saluran tegangan rendah. Terdapat 183 unit transformator distribusi pada jaringan tegangan rendah untuk mendukung penyaluran listrik ke konsumen akhir. Oleh karena itu, keandalan penyulang ini menjadi krusial untuk memastikan kontinuitas pelayanan kelistrikan kepada masyarakat dan sektor-sektor vital. Berikut data gangguan pada penulang KBM02 Tahun 2024 pada gambar 3:



Gambar 3. Data durasi gangguan pada tahun 2024

**4. Uji Validitas**

Dilakukan uji validitas menggunakan metode Simpangan Rata-rata pada data frekuensi dan durasi gangguan Penyulang KBM02 dari Januari - Desember 2024. Berikut hasil uji validitas pada frekuensi padam penyulang KBM02 pada tabel 1:

Tabel 1. Uji validitas frekuensi padam

No	Bulan	Frekuensi Padam (x <sub>f</sub> )	$\underline{x} - x_f$
1.	Januari	6	0,167
2.	Februari	10	3,833
3.	Maret	5	1,167
4.	April	4	2,167
5.	Mei	1	5,167
6.	Juni	6	0,167
7.	Juli	6	0,167
8.	Agustus	1	5,167
9.	September	10	3,833
10.	Oktober	3	3,167
11.	November	13	6,833
12.	Desember	9	2,833
Jumlah		74	34,668
$\underline{x}$		6,167	
Simpangan rata-rata ( $\sum(\underline{x} - x_f)/12$ )			2,889

Berikut ini hasil uji validitas pada durasi padam penyulang KBM02 pada tabel 2.

Tabel 2. Data uji validitas durasi padam 2024

No	Bulan	Durasi Padam (x <sub>f</sub> )	$\underline{x} - x_f$
1.	Januari	3,03	7,69
2.	Februari	21,28	10,56
3.	Maret	10,55	0,17
4.	April	14,42	3,70
5.	Mei	2,72	8,00

No	Bulan	Durasi Padam (x <sub>f</sub> )	x <sub>f</sub> - x̄
6.	Juni	6,58	4,14
7.	Juli	6,00	4,72
8.	Agustus	4,67	6,05
9.	September	23,37	12,65
10.	Oktober	7,58	3,14
11.	November	13,30	2,58
12.	Desember	14,58	3,86
Jumlah		128,58	67
$\bar{x}$		10,72	
<b>Simpangan rata-rata</b> ( $\sum(x_f - \bar{x})/12$ )			5,61

Nilai simpangan rata-rata lebih kecil dibandingkan nilai rata-ratanya mengindikasikan bahwa variasi data relatif rendah. Dengan demikian, baik dari sisi jumlah maupun durasi padam, data yang diperoleh dapat dinyatakan valid dan layak digunakan dalam proses analisis selanjutnya.

### 3.2. Menghitung nilai indeks keandalan

Berikut ini perhitungan nilai indeks keandalan SAIFI berdasarkan data pada tahun 2024 per gangguan.

$$SAIFI = \frac{\sum Ni}{Ni}$$

$$SAIFI = \frac{\text{Jumlah perkalian frekuensi padam dan pelanggan padam}}{\text{Jumlah Pelanggan Total}}$$

$$SAIFI = \frac{1 \cdot 156}{26.733}$$

$$SAIFI = 0,005835484 \text{ kali/ pelanggan}$$

Menghitung nilai SAIDI dengan persamaan:

$$SAIDI = \frac{\mu \cdot Ni}{Ni}$$

$$SAIDI = \frac{1 \cdot 156}{26.733}$$

$$SAIDI = 0,005835484 \text{ jam/ pelanggan}$$

Kemudian menghitung nilai SAIFI dan SAIDI selama periode Januari sampai Desember 2024. Hasil perhitungan menunjukkan nilai SAIFI sebesar 1,414095 kali/pelanggan/tahun, nilai SAIDI sebesar 2,67489 jam/pelanggan/tahun. Berikut ini perhitungan nilai indeks keandalan CAIDI berdasarkan nilai SAIFI dan SAIDI tahun 2024.

$$CAIDI = \frac{SAIDI}{SAIFI}$$

$$CAIDI = \frac{1,414095}{2,67489}$$

$$CAIDI = 1,891591442 \text{ jam}$$

### 3.3. Analisis gangguan dengan Rantai Markov

- a. Menghitung MTTF, MTTR, Laju Kegagalan dan Perbaikan

Menghitung nilai MTTF:

$$MTTF = \frac{T1+T2+T3+\dots+Tn}{n}$$

$$MTTF = \frac{128,58}{74}$$

$$MTTF = 1,738 \text{ jam}$$

Menghitung nilai MTTR:

$$MTTR = \frac{L1+L2+L3+\dots+Ln}{n}$$

$$MTTR = \frac{33}{11}$$

$$MTTR = 3 \text{ jam}$$

Menghitung nilai laju kegagalan:

$$\lambda = \frac{1}{MTTF}$$

$$\lambda = \frac{1}{1,738}$$

$$\lambda = 0,576$$

Menghitung nilai laju perbaikan:

$$\mu = \frac{1}{MTTR}$$

$$\mu = \frac{1}{3}$$

$$\mu = 0,333$$

b. Pemodelan state pada sistem:

Dalam penelitian ini, sistem distribusi tenaga listrik dimodelkan menggunakan pendekatan dua status (two-state model) dalam kerangka Rantai Markov diskrit waktu untuk menyederhanakan dinamika operasional sistem ke dalam bentuk matematis yang dapat dianalisis, khususnya dalam prediksi keandalan. Dua status tersebut adalah:

1) State 0 – Kondisi Normal (Andal):

Sistem beroperasi dengan baik tanpa gangguan, di mana seluruh komponen berfungsi sebagaimana mestinya dan aliran daya berlangsung kontinu; keandalan pada kondisi ini diukur dengan MTTF (*Mean Time To Failure*).

2) State 1 – Kondisi Gangguan (Tidak Andal)

Sistem mengalami kegagalan atau gangguan teknis yang menyebabkan terputusnya suplai listrik, baik karena faktor internal seperti kerusakan peralatan maupun faktor eksternal seperti cuaca atau gangguan hewan; waktu pemulihan dari kondisi ini ke normal diukur dengan MTTR (*Mean Time To Repair*).

c. Membuat matriks probabilitas Transisi

Nilai-nilai dalam matriks transisi diperoleh dari dua parameter utama sistem yaitu:

a) Laju kegagalan ( $\lambda$ ) = 0,576

b) Laju perbaikan ( $\mu$ ) = 0,333

Dengan demikian, matriks transisi dapat dibentuk sebagai berikut:

$$P = \begin{bmatrix} 1 - \lambda & \lambda \\ \mu & 1 - \mu \end{bmatrix}$$

$$P = \begin{bmatrix} 1 - 0,576 & 0,576 \\ 0,333 & 1 - 0,333 \end{bmatrix}$$

$$P = \begin{bmatrix} 0,424 & 0,576 \\ 0,333 & 0,667 \end{bmatrix}$$

d. Menghitung matriks probabilitas di waktu yang akan datang

Perhitungan iterasi 1 langkah:

$$\pi^{(1)} = \pi^{(0)} \cdot P$$

$$\pi^{(1)} = [1 \ 0] \cdot \begin{bmatrix} 0,424 & 0,576 \\ 0,333 & 0,667 \end{bmatrix}$$

$$\pi^{(1)} = [(1 \times 0,424 + 0 \times 0,333) \quad (1 \times 0,576 + 0 \times 0,667)] \quad (1 \times 0 \text{ Lakukan sampai Perhitungan iterasi 6 langkah:})$$

$$\pi^{(6)} = \pi^{(5)} \cdot P$$

$$\pi^{(6)} = [0,3663 \quad 0,6337] \cdot \begin{bmatrix} 0,424 & 0,576 \\ 0,333 & 0,667 \end{bmatrix}$$

$$\pi^{(6)} = [(0,3663 \times 0,424 + 0,6337 \times 0,333) \quad (0,3663 \times 0,576 + 0,6337 \times 0,667)]$$

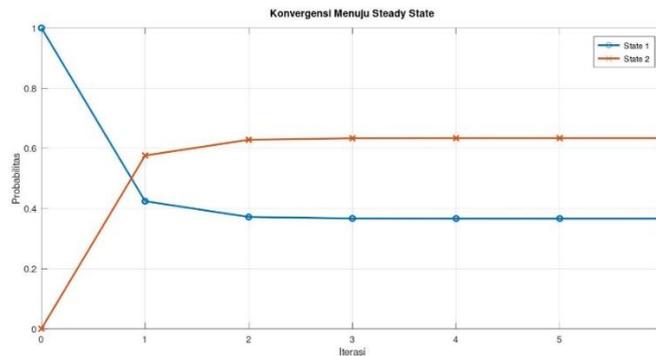
$$\pi^{(6)} = [0,3663 \quad 0,6337]$$

$$,576 + 0 \times 0,667]$$

$$\pi^{(1)} = [0,4240 \quad 0,5760]$$

e. Menentukan kondisi *Steady State*

Dari hasil iterasi hingga 6 kali, dapat ditunjukkan bahwa sistem telah mencapai kondisi steady state. Hal ini ditunjukkan dengan perubahan nilai probabilitas antar iterasi yang semakin kecil dan akhirnya stabil. Perhitungan kondisi *steady state* juga dilakukan menggunakan *software Octave* yang mempermudah proses iterasi vektor probabilitas dengan matriks transisi secara otomatis. Berikut ini grafik simulasi konvergensi menuju kondisi steady state menggunakan *software Octave* gambar 4.



Gambar 4. Grafik konvergensi menuju *steady state* menggunakan *Octave*

f. Menghitung Indeks Keandalan Baru

$$Steady State = [0.3663 \quad 0.6337]$$

Artinya, kemungkinan sistem berada dalam kondisi gangguan adalah 0.6337 (63,37%). Untuk menghitung prediksi indeks keandalan pada tahun berikutnya (2025), digunakan data historis dari tahun 2024 sebagai berikut:

- a. Durasi padam total (SAIDI x pelanggan) = 128,58 jam
- b. Jumlah gangguan (SAIFI x pelanggan) = 78 kali

Kemudian dilakukan Perhitungan proyeksi berdasarkan *Steady State*:

- a. Prediksi Durasi Padam (Jam)  
 Durasi Padam Baru =  $0.6337 \times 128.58 = 81.46$  jam
- b. Prediksi Frekuensi Gangguan (Kali)  
 Jumlah Gangguan Baru =  $0.6337 \times 78 = 49.43$  kali

Menghitung nilai indeks keandalan pada tahun 2025:

- a. SAIFI  
 $SAIFI_{2025} = \frac{49.43}{78} \times SAIFI_{2024} = 0.6337 \times 1.414095 = 0.8984$  kali/pelanggan/tahun
- b. SAIDI  
 $SAIDI_{2025} = \frac{81.46}{128.58} \times SAIDI_{2024} = 0.6337 \times 2.67489 = 1.6951$  jam/pelanggan/tahun
- c. CAIDI  
 $CAIDI_{2025} = \frac{SAIDI}{SAIFI} = \frac{1.6951}{0.8984} = 1.886$  jam/gangguan

g. Membandingkan Hasil Indeks Keandalan

Tabel 3. Perbandingan hasil indeks keandalan

Indeks	Tahun 2024	Tahun 2025 (Prediksi)	SPLN 68-2:1986	IEEE 1366-2003
SAIFI (kali/pelanggan/tahun)	1,4141	0,8984	3,2	1,45
SAIDI (jam/pelanggan/tahun)	2,6749	1,6951	21,09	2,3
CAIDI (jam/gangguan)	1,892	1,886	6,56	1,47



Gambar 5. Diagram perbandingan nilai indeks keandalan dengan standar

Indeks keandalan hasil perhitungan prediksi tahun 2025 menunjukkan bahwa SAIFI sebesar 0,9 kali/pelanggan/tahun, SAIDI sebesar 1,7 jam/pelanggan/tahun, dan CAIDI sebesar 1,89 jam/gangguan. Jika dibandingkan dengan nilai tahun 2024, yaitu SAIFI sebesar 1,41, SAIDI sebesar 2,67, dan CAIDI tetap sebesar 1,89, keandalan pada penyulang KBM02 menunjukkan terjadi peningkatan keandalan sistem secara signifikan. Hasil prediksi steady state menunjukkan bahwa kemungkinan sistem berada pada kondisi gangguan adalah sebesar 63,37%, sedangkan dalam kondisi andal hanya 36,63%. Persentase ini mengindikasikan bahwa meskipun nilai indeks keandalan (SAIFI dan SAIDI) tahun 2025 diproyeksikan membaik dibandingkan tahun 2024, tingkat probabilitas gangguan tetap tinggi sehingga perlu perhatian khusus. Jika dilihat dari data gangguan tahun 2024, beberapa titik rawan berada pada trafo distribusi dan peralatan proteksi seperti LBS (*Load Break Switch*), PMT (*Pemutus Tenaga*), dan ACSW (*Air Break Switch*), yang sering terlibat dalam kejadian padam baik karena kegagalan mekanis maupun pengaruh eksternal seperti cuaca ekstrem dan gangguan hewan. Selain itu, segmen jaringan tegangan menengah pada rute yang melewati area pepohonan padat juga berkontribusi besar terhadap frekuensi gangguan. Dengan demikian, meskipun hasil prediksi menunjukkan keandalan secara umum sudah memenuhi standar SPLN dan IEEE, pemeliharaan preventif yang lebih intensif pada titik-titik kritis tersebut sangat disarankan. Langkah-langkah seperti inspeksi rutin, penggantian komponen yang mendekati umur pakai, dan mitigasi risiko gangguan eksternal (misalnya pemangkasan pohon di sekitar jaringan) dapat membantu menurunkan probabilitas gangguan dan meningkatkan porsi waktu sistem berada dalam kondisi andal.

## 5. KESIMPULAN

Berdasarkan data yang telah diperoleh dari hasil perhitungan terhadap sistem jaringan distribusi 20 kV pada penyulang KBM02 ULP Kebumen, maka dapat disimpulkan bahwa penyulang KBM02 masih tergolong andal. Hal ini ditunjukkan dengan hasil perhitungan indeks keandalan SAIFI sebesar 1,4141 kali per pelanggan per tahun, SAIDI sebesar 2,6749 jam per pelanggan per tahun, dan CAIDI sebesar 1,8916 jam per gangguan pada tahun 2024. Hasil prediksi keandalan tahun 2025 yang diperoleh menggunakan metode Rantai Markov menunjukkan nilai SAIFI diperkirakan menurun menjadi sekitar 0,9 kali per pelanggan per tahun, SAIDI menjadi sekitar 1,7 jam per pelanggan per tahun, dan CAIDI menjadi 1,9 jam per gangguan. Nilai-nilai tersebut masih berada dalam batas yang ditetapkan oleh standar nasional SPLN 68-2:1986. Berdasarkan hasil penelitian dapat disarankan kepada pihak penyedia jasa listrik PT PLN Kebumen untuk dapat mempertahankan keandalan yang telah dicapai. Berdasarkan temuan penelitian ini, PT PLN dapat mengambil langkah konkret untuk menjaga dan meningkatkan keandalan penyulang KBM02. Langkah tersebut meliputi pemeliharaan rutin peralatan proteksi seperti LBS, PMT, dan ACSW guna mencegah kegagalan mekanis mendadak, serta penggantian trafo distribusi yang mendekati umur pakai atau menunjukkan gejala penurunan performa berdasarkan hasil inspeksi termografi dan pengujian isolasi. Selain itu, peningkatan program inspeksi jalur jaringan perlu dilakukan, khususnya pada segmen yang melewati area pepohonan padat, termasuk penebangan atau pemangkasan pohon yang berpotensi bersentuhan dengan konduktor. Pemasangan atau perbaikan peralatan penangkal gangguan hewan pada gardu distribusi dan titik rawan juga perlu diprioritaskan. Terakhir, penerapan sistem monitoring berbasis IoT/SCADA dapat membantu mendeteksi gangguan lebih cepat dan memperpendek waktu respon (MTTR). Implementasi langkah-langkah ini diharapkan mampu menekan probabilitas kondisi gangguan sebesar 63,37%, sehingga indeks keandalan di tahun-tahun berikutnya berpotensi lebih baik dibanding prediksi 2025.

## REFERENSI

- [1] M. Agista, "Analisis Keandalan Sistem Distribusi Listrik 20 kV pada Penyulang CWRU di PT PLN Persero ULP Pelabuhanratu Area Surade," Doctoral dissertation, Universitas Pendidikan Indonesia, 2023.
- [2] M. O. Balogun, M. O. Ahmed, A. A. Ajani, dan H. Olaoye, "Reliability Assessment of 33KV Feeder (A Case Study of Transmission Company of Nigeria, Ganmo Work Centre)," *Journal Name*, no. 1, pp. 77–83, 2019.
- [3] A. G. Bushmakina dan J. C. Cappelleri, "Construct Validity and Criterion Validity," in *A Practical Approach to Quantitative Validation of Patient-Reported Outcomes*, pp. 151–249, Wiley, 2022.
- [4] Enrico, E. P. Sari, I. Ridzki, dan K. M. Habsari, "Reliability Assessment Sistem Distribusi 20 kV di PT PLN (Persero) ULP Mojoagung Menggunakan Markov Model," *Jurnal Teknik Ilmu dan Aplikasi*, vol. 2, no. 2, pp. 42–48, 2022.

- [5] K. Fitriatul, “Analisis Keandalan Jaringan Distribusi 20 kV Penyulang Batujai Menggunakan Metode FMEA dan Metode Markov,” S1 Thesis, Universitas Mataram, 2025.
- [6] F. Fitriyani, “Markov Chain Analysis in Predicting Consumer Price Index for the Food, Beverage and Tobacco Sector in Jambi City,” *Jurnal Sintak*, vol. 2, no. 1, pp. 6–13, 2023.
- [7] Harni, Kartin, dan Novrista, “Pengaruh Kualitas Pelayanan terhadap Kepuasan Pelanggan pada PT PLN (Persero) Lubuk Pakam,” Fakultas Ekonomi, Universitas Sumatera Utara, 2022.
- [8] IEEE Guide for Electric Power Distribution Reliability Indices, IEEE Std 1366-2003 (Revision of IEEE Std 1366-1998), pp. 1–50, May 14, 2004.
- [9] Y. H. Laily, F. Rakhmawati, dan I. Husein, “Penerapan Metode Fuzzy Time Series–Markov Chain dalam Peramalan Curah Hujan sebagai Jadwal Tanaman Padi,” *Jurnal Lebesgue: Jurnal Ilmiah Pendidikan Matematika, Matematika dan Statistika*, vol. 4, no. 1, pp. 162–174, 2023.
- [10] M. Anjani, “Implementasi Metoda Distribusi Monte Carlo dan Rantai Markov untuk Optimalisasi Ketersediaan Cadangan Transformator Daya di Jaringan Transmisi,” Seminar Nasional ke-4, Universitas Islam Nusantara, 2020.
- [11] M. Perdana, “Analisis Keandalan Sistem Distribusi Tenaga Listrik pada Penyulang Jember Kota dan Kalisat di PT PLN APJ Jember,” Doctoral dissertation, Universitas Brawijaya, 2021.
- [12] H. B. Santoso dan S. Rahayuningsih, “Keandalan Sistem Instrumentasi dengan Metode Markov Chain,” *JATI UNIK: Jurnal Ilmiah Teknik dan Manajemen Industri*, vol. 5, no. 2, pp. 100–108, 2022.
- [13] E. P. Sari, I. Ridzki, dan K. M. Habsari, “Reliability Assessment Sistem Distribusi 20 kV di PT PLN (Persero) ULP Mojoagung Menggunakan Markov Model,” *Jurnal Teknik Ilmu dan Aplikasi*, vol. 2, no. 2, pp. 42–48, 2021.
- [14] SPLN 68–2, “Tingkat Jaminan Sistem Tenaga Listrik Bagian Dua: Sistem Distribusi,” Perusahaan Umum Listrik Negara, Jakarta, 1986. [Standard]
- [15] E. T. Susdarwono, “Rantai Markov dalam Penentuan Market Share dan Equilibrium: Studi Kasus Pedagang Cilok di Alun-Alun Kabupaten Pemalang,” 2021.
- [16] A. M. Wardihan, “Studi Sistem Kelistrikan pada Rumah Sakit UNHAS,” Doctoral dissertation, Universitas Hasanuddin, 2021.
- [17] H. Wicaksono, Projo, et al., “Analisa Keandalan Sistem Distribusi di PT PLN (Persero) APJ Kudus Menggunakan Software ETAP dan Metode Section Technique,” *Proceeding Seminar Tugas Akhir, Jurusan Teknik Elektro, Fakultas Teknik Industri, Institut Teknologi Sepuluh Nopember, Surabaya*, 2022.