

RELIABILITY ASSESMENT SISTEM DISTRIBUSI 20 KV DI PT PLN (PERSERO) ULP MOJOAGUNG MENGGUNAKAN MARKOV MODEL

Enrico^{1*)}, Erine Puspita Sari¹⁾, Imron Ridzki¹⁾, Kumala Mahda Habsari²⁾

¹⁾Jurusan Teknik Elektro, Politeknik Negeri Malang, Jalan Soekarno-Hatta No. 9 Malang

²⁾Jurusan Teknik Elektro, Politeknik Negeri Madiun, Jalan Serayu 84 Madiun

^{*)ricoco8d@gmail.com}

Abstrak

Analisis Markov Model merupakan suatu model probabilistik berbentuk khusus yang umumnya dinamakan Stochastic process atau proses perubahan probabilistik yang terjadi secara terus menerus. Metode tersebut digunakan untuk menganalisis kemungkinan terjadinya gangguan di tahun berikutnya (2021 dan 2022). Keandalan penyulang dinilai berdasarkan durasi dan frekuensi gangguan. Proses analisis mengacu pada data gangguan penyulang tahun 2018-2020 menggunakan Markov Model. Hasil analisis digunakan untuk menentukan upaya-upaya peningkatan keandalan penyulang. Pada tahun 2021 diperkirakan 70,59% Penyulang Mojolegi mengalami gangguan setiap bulannya dengan 29,41% gangguan level G. Sedangkan di tahun 2022 persentase gangguan naik 1,07% dari tahun sebelumnya dengan level gangguan G sebesar 28,63%. Hal tersebut menggambarkan Penyulang Mojolegi masih rawan terjadi gangguan dan mengalami kenaikan persentase gangguan disetiap tahunnya. Pada tahun 2021 diperkirakan 11,43% Penyulang Gading mengalami gangguan setiap bulannya dengan 25,00% gangguan level G. Sedangkan persentase gangguan di tahun 2022 konsisten sebesar 11,43 dengan level gangguan G sebesar 25,00%. Hal tersebut menggambarkan Penyulang Gading masih dalam koridor aman dari gangguan dan mengalami bernilai konstan disetiap tahunnya. Dari hasil analisis didapatkan daerah rawan gangguan dengan penyebab gangguannya. Dalam menyikapi hal tersebut PT PLN (Persero) ULP Mojoagung dapat memfokuskan pemeliharaan jaringan distribusi pada daerah yang rawan gangguan. Upaya peningkatan keandalan untuk Penyulang Mojolegi dapat difokuskan pada section V. Upaya peningkatan keandalan untuk Penyulang Gading dapat difokuskan pada section II. Hal tersebut bertujuan untuk meningkatkan keandalan keandalan penyulang pada PT PLN (Persero) ULP Mojoagung.

Kata Kunci: Reliability Assessment, Markov Model, durasi, frekuensi, peningkatan keandalan

Abstract

Markov Model analysis is a special form of probabilistic model commonly called Stochastic process or process of probabilistic changes that occur continuously. This method is used to analyze the likelihood of disruption in the following year (2021 and 2022). The reliability of the refiner is assessed based on the duration and frequency of the disruption. The analysis process refers to the 2018-2020 refinerial interference data using the Markov Model. The results of the analysis are used to determine efforts to improve the reliability of refiners. In 2021 it is estimated that 70.59% of Mojolegi Refiners experience disruptions every month with 29.41% disruption of G levels. While in 2022 the percentage of disturbances is up 1.07% from the previous year with a G disruption level of 28.63%. This illustrates that Mojolegi Refiners are still prone to disruption and experience an increase in the percentage of disturbances in every know. In 2021 it is estimated that 11.43% of Gading Refiners experience disruption every month with 25.00% disruption of G level. While the percentage of disturbances in 2022 is consistent at 11.43 with a G disruption level of 25.00%. This illustrates that Gading Refiners are still in the corridor safe from interference and experience constant value every year. From the results of the analysis obtained areas prone to disorders with the cause of the disorder. In responding to this, PT PLN (Persero) ULP Mojoagung can focus the maintenance of the distribution network in areas prone to disruption. Reliability improvement efforts for Mojolegi Refiners can be focused on section V. Efforts to improve reliability for Gading Refiners can be focused on section II. It aims to improve the reliability of the reliability of refiners at PT PLN (Persero) ULP Mojoagung.

Keywords: Reliability Assessment, Markov Model, duration, frequency, reliability improvement

1. PENDAHULUAN

Keandalan sistem distribusi adalah peluang suatu komponen atau sistem distribusi dalam memenuhi fungsi yang dibutuhkan dalam periode tertentu [1]. Pada sistem distribusi, kualitas keandalan dapat diketahui dari durasi pemadaman dan seberapa sering pemadaman terjadi dalam satu satuan waktu. Sebuah sistem distribusi tentunya

mempunyai nilai keandalan tertentu, yang tergantung dari keandalan sistem distribusi, yang diperoleh dengan menghitung tingkat indeks keandalannya. Indeks keandalan pada dasarnya adalah suatu angka atau parameter yang menunjukkan tingkat pelayanan atau tingkat keandalan dari suplai tenaga listrik sampai ke konsumen [2]. Untuk itu, kualitas penyaluran energi

listrik akan dinilai baik apabila frekuensi pemadaman dan durasi pemadamannya tidak melampaui nilai standar keandalan.

Menurut data gangguan ULP Mojoagung, gangguan pada Penyulang Mojolegi dan Gading mengalami pasang surut dalam 3 tahun terakhir. Di tahun 2018 tercatat Penyulang Mojolegi dan Gading mengalami gangguan sebanyak 19 dan 3 kali dalam setahun. Pada tahun 2019 Penyulang Mojolegi mengalami penurunan gangguan tercatat 12 kali dalam setahun, namun pada Penyulang Gading mengalami peningkatan menjadi 5 kali dalam setahun. Di tahun 2020 Penyulang Mojolegi mengalami lonjakan gangguan tercatat 20 kali dalam setahun sedangkan Penyulang Gading justru hanya mengalami 1 kali gangguan. Oleh karena itu, diperlukan suatu metode untuk menganalisis kemungkinan terjadinya gangguan di tahun berikutnya (2021 dan 2022). Salah satu metode yang dapat digunakan untuk menganalisis suatu keandalan sistem distribusi adalah Markov Model.

2. KAJIAN PUSTAKA

2.1. Model Markov

Model Markov berhubungan dengan suatu rangkaian proses dimana kejadian akibat suatu eksperimen hanya tergantung pada kejadian yang langsung mendahuluinya dan tidak tergantung pada rangkaian kejadian yang lain sebelumnya. Model Markov dapat diaplikasikan pada perilaku (*behavior*) random dari suatu sistem yang bervariasi secara diskrit maupun kontinu terhadap ruang dan waktu. Variasi random baik secara diskrit maupun secara random ini disebut dengan proses stokastik (*stochastic process*). Tujuan analisis menggunakan Model Markov adalah untuk menghitung $P_i(t)$ yaitu probabilitas sistem pada state i dalam waktu t . Analisis ini dimulai dengan menetapkan semua kondisi yang dapat terjadi pada sistem hingga mencapai gangguan. Kemudian hubungan semua keandalan yang mungkin terjadi pada komponen penyusun sistem selama masa pakai digambarkan dengan Markov Chain, yang disebut dengan “diagram transisi state” [3]. Informasi yang dapat dihasilkan dari analisis Markov adalah probabilitas berada dalam suatu status pada satu periode di masa depan. Penentuan nilai probabilitas, dengan menggunakan persamaan [4]:

$$P_{ij} = \frac{n_{ij}(t)}{n_i(t)} \quad (1)$$

Di mana P_{ij} = nilai probabilitas, n_{ij} = Jumlah nilai perpindahan dari state i ke state j (t) dan n_i = total nilai perpindahan pada state i (t).

2.2. Upaya mengurangi jumlah gangguan

Gangguan yang terjadi dalam penyaluran tenaga listrik ini merupakan hal yang tidak diinginkan dan tidak dapat dihindarkan maka

dibutuhkan upaya – upaya untuk mengurangi jumlah gangguan. Berikut beberapa tindakan yang dapat dilakukan untuk mengurangi jumlah gangguan pada sistem distribusi [5-7]:

- Melakukan dan menjadwalkan maintenance untuk setiap peralatan sesuai dengan buku instruksi untuk pemeliharaan peralatan tersebut sehingga kegagalan peralatan dapat dihindari;
- Melakukan pemeriksaan peralatan pengaman (relay pengaman) secara berkala dan pengecekan secara insidental setelah adanya laporan untuk mencegah kerusakan meluas;
- Melakukan analisis untuk mencari akar masalah pada gangguan yang terjadi secara berulang, agar gangguan tersebut tidak terjadi secara terus menerus;
- Melakukan pengembangan sistem seiring dengan pertumbuhan beban yang akan selalu meningkat sehingga tidak ada peralatan yang bekerja diatas kemampuan akibat beban lebih;
- Dilakukannya pelatihan pada tenaga ahli agar tidak terjadi kesalahan yang berakibat fatal dalam melakukan maintenance;
- Melakukan inspeksi jaringan dan pemangkasan ranting pohon yang berpotensi menyebabkan kegagalan pada saluran udara tegangan menengah.

3. METODE

Penelitian ini dilaksanakan di wilayah kerja PT PLN (Persero) Unit Layanan Pelanggan Mojoagung pada tanggal Juni 2020 s.d. Juli 2021.

1. Metode Studi Literatur

Studi Literatur adalah referensi berupa Buku/E-book, jurnal penelitian baik nasional maupun internasional yang diambil sebagai acuan penulis. Referensi tersebut berupa artikel yang kebenarannya bisa dipertanggung jawabkan. Penulis berfokus mempelajari beberapa referensi yang membahas tentang sistem distribusi 20 kV, keandalan sistem distribusi yang mengacu pada SPLN dan IEEE, Markov Model, dan sistem pemeliharaan.

2. Metode Wawancara

Wawancara dilakukan penulis untuk mendapatkan informasi dari penanggung jawab teknik setempat yang bersangkutan untuk memperdalam pemahaman terkait masalah yang akan dibahas. Dalam hal ini penulis juga mengumpulkan data yang diperlukan, sehingga informasi yang didapat lebih akurat.

4. HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1. Keandalan penyulang

Berdasarkan data ULP Mojoagung tahun 2018-2020 berdasarkan durasi gangguan Penyulang Mojolegi mengalami rata-rata lama padam sebesar 4.67 jam. Gangguan terlama dialami dibulan April

2018 dengan durasi 2.17 jam. Semakin lama durasi gangguan akan memperburuk nilai keandalan sistem distribusi.

TABEL 1. DURASI GANGGUAN PENYULANG MOJOLEGI

Tahun/Bulan	Jan (jam)	Feb (jam)	Mar (jam)	Apr (jam)	Mei (jam)	Jun (jam)	Jul (jam)	Agt (jam)	Sep (jam)	Okt (jam)	Nov (jam)	Des (jam)	Total (jam)
2018	0.01	0.00	1.31	2.17	0.52	0.01	0.01	0.00	0.01	0.00	0.02	0.39	3.53
2019	0.00	0.00	0.59	0.00	0.01	0.02	0.32	0.00	0.00	0.00	0.37	1.07	3.18
2020	0.01	0.02	0.03	0.00	0.00	0.05	1.26	0.04	2.05	0.50	0.40	1.33	6.49

Berdasarkan data ULP Mojoagung tahun 2018-2020 berdasarkan durasi gangguan Penyulang Gading mengalami rata-rata lama padam sebesar 1,48 jam. Gangguan terlama dialami dibulan Mei 2019 dengan durasi 3.39 jam. Semakin lama durasi gangguan akan memperburuk nilai keandalan sistem distribusi.

TABEL 2. DATA DURASI GANGGUAN PENYULANG GADING

Tahun/Bulan	Jan (jam)	Feb (jam)	Mar (jam)	Apr (jam)	Mei (jam)	Jun (jam)	Jul (jam)	Agt (jam)	Sep (jam)	Okt (jam)	Nov (jam)	Des (jam)	Total (jam)
2018	0:00	0:00	0:00	0:05	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:05
2019	0:00	0:00	0:00	0:04	3:39	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	3:43
2020	0:00	0:00	0:00	0:00	0:40	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:40

Berdasarkan data ULP Mojoagung tahun 2018-2020 berdasarkan frekuensi gangguan Penyulang Mojolegi mengalami rata-rata padam sebanyak 18 kali. Gangguan terbanyak dialami dibulan April, Juli, dan Desember 2018 dengan jumlah 5 kali. Semakin sering gangguan akan memperburuk nilai keandalan sistem distribusi.

TABEL 3. DATA FREKUENSI GANGGUAN PENYULANG MOJOLEGI

Tahun/Bulan	Jan (kali)	Feb (kali)	Mar (kali)	Apr (kali)	Mei (kali)	Jun (kali)	Jul (kali)	Agt (kali)	Sep (kali)	Okt (kali)	Nov (kali)	Des (kali)	Total (kali)
2018	1	0	2	5	1	1	1	0	1	0	2	4	18
2019	0	0	1	0	1	2	1	0	0	0	1	3	9
2020	1	2	3	0	0	3	5	2	3	1	2	5	27

Berdasarkan data ULP Mojoagung tahun 2018-2020 berdasarkan frekuensi gangguan Penyulang Gading mengalami rata-rata padam sebanyak 1,3 kali. Gangguan terbanyak dialami ditahun 2019 dengan jumlah 2 kali. Semakin sering gangguan akan memperburuk nilai keandalan sistem distribusi.

TABEL 4. DATA FREKUENSI GANGGUAN PENYULANG GADING

Tahun/Bulan	Jan (kali)	Feb (kali)	Mar (kali)	Apr (kali)	Mei (kali)	Jun (kali)	Jul (kali)	Agt (kali)	Sep (kali)	Okt (kali)	Nov (kali)	Des (kali)	Total (kali)
2018	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	1
2019	0	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	2
2020	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	1

4.2. Analisis Lama Gangguan Menggunakan Markov Model

1. Pembuatan Level Lama Gangguan

Berikut merupakan tabel level lama gangguan yang digunakan untuk mempermudah analisis data menggunakan Markov Model.

TABEL 5. LEVEL LAMA GANGGUAN

Level	Lama Gangguan (jam)
A	>1
B	0.50-0.59
C	0.40-0.49
D	0.30-0.39
E	0.20-0.29
F	0.10-0.19
G	0.01-0.09
H	0

2. Matriks probabilitas transisi

Probabilitas Transisi adalah perubahan dari suatu state ke state yang lain pada periode (waktu) berikutnya. Probabilitas Transisi juga merupakan suatu proses random yang dinyatakan dalam probabilitas yang dinotasikan dengan (Pij). Pij merupakan kemungkinan transisi dari keadaan “i” ke keadaan “j”. Oleh karena angka tersebut melambangkan kemungkinan, maka semuanya merupakan bilangan non negatif dan tidak lebih dari satu.

TABEL 6. PEMODELAN DATA GANGGUAN PENYULANG MOJOLEGI

Tahun/Bulan	Jan	Feb	Mar	Apr	Mei	Jun	Jul	Agst	Sep	Okt	Nov	Des
2018	G	H	A	A	B	G	G	H	G	H	G	D
2019	H	H	B	H	G	G	D	H	H	H	D	A
2020	G	G	G	H	H	G	A	G	A	B	C	A

TABEL 7. PEMODELAN DATA GANGGUAN PENYULANG GADING

Tahun/Bulan	Jan	Feb	Mar	Apr	Mei	Jun	Jul	Agst	Sep	Okt	Nov	Des
2018	H	H	H	G	H	H	H	H	H	H	H	H
2019	H	H	B	G	A	H	H	H	H	H	H	H
2020	H	H	H	H	C	H	H	H	H	H	H	H

3. Perhitungan Probabilitas Awal

Perhitungan probabilitas awal (P1) didapatkan dari jumlah perpindahan level gangguan. Perpindahan level gangguan adalah perpindahan level gangguan dari satu periode ke periode selanjutnya. Contoh perpindahan level gangguan ditunjukkan oleh level gangguan di bulan januari 2018 menjadi februari 2018. P1 adalah probabilitas awal dari suatu kejadian.

TABEL 8. PERPINDAHAN LEVEL GANGGUAN PENYULANG MOJOLEGI

Level	A	B	C	D	E	F	G	H	Total
A	1	2	0	0	0	0	2	0	5
B	0	0	1	0	0	0	0	1	2
C	1	0	0	0	0	0	0	0	1
D	1	0	0	0	0	0	0	2	3
E	0	0	0	0	0	0	0	0	0
F	0	0	0	0	0	0	0	0	0
G	2	0	0	2	0	0	4	4	12
H	1	1	0	1	0	0	4	4	11
									34

TABEL 9. PERPINDAHAN LEVEL GANGGUAN PENYULANG GADING

Level	A	B	C	D	E	F	G	H	Total
A	0	0	0	0	0	0	0	1	1
B	0	0	0	0	0	0	1	0	1
C	0	0	0	0	0	0	0	1	1
D	0	0	0	0	0	0	0	0	0
E	0	0	0	0	0	0	0	0	0
F	0	0	0	0	0	0	0	0	0
G	1	0	0	0	0	0	0	1	2
H	0	1	1	0	0	0	1	0	3
									8

4. Nilai Probabilitas Durasi Gangguan
Penentuan nilai probabilitas dengan menggunakan persamaan [7] – [12]:

$$P_{ij} = \frac{n_{ij}(t)}{n_i(t)}$$

Dimana:

- $n_{ij}(t)$ adalah jumlah nilai perpindahan dari state i ke state j
- $n_i(t)$ adalah total nilai perpindahan pada state i

Misalkan pada perpindahan level gangguan A – A terdapat 1 kali perpindahan maka nilai probabilitas yang didapatkan yaitu 1. Nilai tersebut selanjutnya dibagi dengan total nilai perpindahan pada level A [14], [15].

TABEL 10. NILAI PROBABILITAS PENYULANG MOJOLEGI

P_{ij}	A	B	C	D	G	H	P_0
A	0,20	0,40	0,00	0,00	0,40	0,00	0,15
B	0,00	0,00	0,50	0,00	0,00	0,50	0,06
C	1,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,03
D	0,33	0,00	0,00	0,00	0,00	0,67	0,09
G	0,17	0,00	0,00	0,17	0,33	0,33	0,35
H	0,09	0,09	0,00	0,09	0,36	0,36	0,32

TABEL 11. NILAI PROBABILITAS PENYULANG GADING

P_{ij}	A	B	C	G	H	P_0
A	0,00	0,00	0,00	0,00	1,00	0,13
B	0,00	0,00	0,00	1,00	0,00	0,13
C	0,00	0,00	0,00	0,00	1,00	0,13
G	0,50	0,00	0,00	0,00	0,50	0,25
H	0,00	0,33	0,33	0,33	0,00	0,38

5. Nilai Probabilitas Frekuensi Gangguan
Penentuan nilai probabilitas frekuensi gangguan didapatkan dengan cara yang sama

dengan penentuan nilai probabilitas durasi gangguan.

TABEL 12. NILAI PROBABILITAS PENYULANG MOJOLEGI

Perpindahan	0	1	2	3	4	5	P_0
0	0,36	0,36	0,18	0,09	0,00	0,00	0,32
1	0,40	0,20	0,30	0,10	0,00	0,00	0,29
2	0,00	0,17	0,00	0,33	0,17	0,33	0,18
3	0,25	0,50	0,00	0,00	0,00	0,25	0,12
4	1,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,03
5	0,00	0,50	0,50	0,00	0,00	0,00	0,06

TABEL 13. NILAI PROBABILITAS PENYULANG GADING

Perpindahan	0	1	P_0
0	0,90	0,10	0,89
1	0,75	0,25	0,11

4.3. Prediksi Gangguan Tahun 2021 dan 2022

1. Perhitungan Prediksi Gangguan

Setelah mendapatkan matriks probabilitas (P_{ij}) dan jumlah nilai probabilitas gangguan (P_t). Maka untuk melakukan prediksi lama gangguan pada periode yang akan datang dihitung dengan menggunakan rumus $P_{t+1} = P_t \cdot P_{ij}$ yaitu mengalikan jumlah nilai probabilitas gangguan periode awal matriks dengan probabilitas transisi, Perhitungannya yaitu seperti pada sistem perkalian matriks pada umumnya yaitu baris kali kolom, dengan perhitungan:

Penyulang Mojolegi

$$1) P_1 = P_0 \cdot P_{ij}$$

$$= (0,15 \ 0,06 \ 0,03 \ 0,09 \ 0,35 \ 0,32) \begin{pmatrix} 0,20 & 0,40 & 0,00 & 0,00 & 0,40 & 0,00 \\ 0,00 & 0,00 & 0,50 & 0,00 & 0,00 & 0,50 \\ 1,00 & 0,00 & 0,00 & 0,00 & 0,00 & 0,00 \\ 0,33 & 0,00 & 0,00 & 0,00 & 0,00 & 0,67 \\ 0,17 & 0,00 & 0,00 & 0,17 & 0,33 & 0,33 \\ 0,09 & 0,09 & 0,00 & 0,09 & 0,36 & 0,36 \end{pmatrix}$$

$$P_1 = (0,18 \ 0,09 \ 0,03 \ 0,09 \ 0,29 \ 0,32)$$

$$2) P_2 = P_1 \cdot P_{ij}$$

$$= (0,18 \ 0,09 \ 0,03 \ 0,09 \ 0,29 \ 0,32) \begin{pmatrix} 0,20 & 0,40 & 0,00 & 0,00 & 0,40 & 0,00 \\ 0,00 & 0,00 & 0,50 & 0,00 & 0,00 & 0,50 \\ 1,00 & 0,00 & 0,00 & 0,00 & 0,00 & 0,00 \\ 0,33 & 0,00 & 0,00 & 0,00 & 0,00 & 0,67 \\ 0,17 & 0,00 & 0,00 & 0,17 & 0,33 & 0,33 \\ 0,09 & 0,09 & 0,00 & 0,09 & 0,36 & 0,36 \end{pmatrix}$$

$$P_2 = (0,17 \ 0,10 \ 0,04 \ 0,08 \ 0,29 \ 0,32)$$

2. Persentase Kemungkinan Durasi Gangguan

Setelah didapatkan hasil perhitungan maka dapat dilakukan analisis gangguan Penyulang Mojolegi dengan hasil dari P_1 dan P_2 , yang merupakan prediksi untuk tahun 2021 dan 2022.

TABEL 14. PERSENTASE KEMUNGKINAN DURASI GANGGUAN PENYULANG MOJOLEGI

Level	$P_1 \times 100\%$	$P_2 \times 100\%$
A	17,65%	17,25%
B	8,82%	10,00%
C	2,94%	4,41%
D	8,82%	7,84%
G	29,41%	28,63%
H	32,35%	31,86%

Setelah didapatkan hasil perhitungan maka dapat dilakukan analisis gangguan Penyulang Mojolegi dengan hasil dari P_1 dan P_2 , yang

merupakan prediksi untuk tahun 2021 dan 2022. Level A adalah durasi gangguan paling lama sedangkan level H adalah durasi gangguan paling rendah atau nihil, sehingga dapat diuraikan sebagai berikut:

- a. Tahun 2021, Data tersebut menunjukkan durasi gangguan dalam sebulan. Dapat dilihat berturut-turut, kemungkinan level A bernilai 17,65%, level B bernilai 8,82%, Level C bernilai 2,94%, level D bernilai 8,82%, level G bernilai 29,41%, dan level H bernilai 32,35%.
- b. Tahun 2022, Data tersebut menunjukkan durasi gangguan dalam sebulan. Dapat dilihat berturut-turut, kemungkinan level A bernilai 17,25%, level B bernilai 10,00%, Level C bernilai 4,41%, level D bernilai 7,84%, level G bernilai 28,63%, dan level H bernilai 31,86%.

TABEL 15. PERSENTASE KEMUNGKINAN DURASI GANGGUAN PENYULANG GADING

Level	$P_1 \times 100\%$	$P_2 \times 100\%$
A	17,65%	17,25%
B	8,82%	10,00%
C	2,94%	4,41%
D	8,82%	7,84%
G	29,41%	28,63%
H	32,35%	31,86%

Setelah didapatkan hasil perhitungan maka dapat dilakukan analisis gangguan Penyulang Gading dengan hasil dari P1, dan P2 yang merupakan prediksi untuk tahun 2021 dan 2022. Level A adalah durasi gangguan paling lama sedangkan level H adalah durasi gangguan paling rendah atau nihil, sehingga dapat diuraikan sebagai berikut:

- a. Tahun 2021, Data tersebut menunjukkan durasi gangguan dalam sebulan. Dapat dilihat berturut-turut, kemungkinan level A bernilai 12,50%, level B bernilai 12,50%, Level C bernilai 12,50%, level G bernilai 25,00%, dan level H bernilai 37,50%.
- b. Tahun 2022, Data tersebut menunjukkan durasi gangguan dalam sebulan. Dapat dilihat berturut-turut, kemungkinan level A bernilai 12,50%, level B bernilai 12,50%, Level C bernilai 12,50%, level G bernilai 25,00%, dan level H bernilai 37,50%.

3. Persentase Kemungkinan Frekuensi Gangguan
Dengan metode perhitungan yang sama dengan perhitungan prediksi gangguan, didapatkan persentase kemungkinan frekuensi gangguan.

TABEL 16. PERSENTASE KEMUNGKINAN FREKUENSI GANGGUAN PENYULANG MOJOLEGI

Level	$P_1 \times 100\%$	$P_2 \times 100\%$
0	29,41%	28,34%
1	29,41%	29,81%
2	17,65%	18,58%
3	11,76%	11,50%
4	2,94%	2,94%
5	8,82%	8,82%

Setelah didapatkan hasil perhitungan maka dapat dilakukan analisis gangguan Penyulang Mojolegi dengan hasil dari P1 dan P2, yang merupakan prediksi untuk tahun 2021 dan 2022, dimana 0 adalah tidak terjadi gangguan sedangkan 5 adalah frekuensi gangguan paling banyak, sehingga dapat diuraikan sebagai berikut:

- a. Tahun 2021, Data tersebut menunjukkan frekuensi gangguan dalam sebulan. Dapat dilihat berturut-turut, kemungkinan terjadi 0 kali gangguan bernilai 29,41%, 1 kali gangguan bernilai 29,41%, 2 kali gangguan bernilai 17,65%, 3 kali gangguan bernilai 11,76%, 4 kali gangguan bernilai 2,94%, dan 5 kali gangguan bernilai 8,82%.
- b. Tahun 2022, Data tersebut menunjukkan frekuensi gangguan dalam sebulan. Dapat dilihat berturut-turut, kemungkinan terjadi 0 kali gangguan bernilai 29,41%, 1 kali gangguan bernilai 29,41%, 2 kali gangguan bernilai 17,65%, 3 kali gangguan bernilai 11,76%, 4 kali gangguan bernilai 2,94%, dan 5 kali gangguan bernilai 8,82%.

TABEL 17. PERSENTASE KEMUNGKINAN FREKUENSI GANGGUAN PENYULANG GADING

Kategori	$P_1 \times 100\%$	$P_2 \times 100\%$
0	89%	11%
1	89%	11%

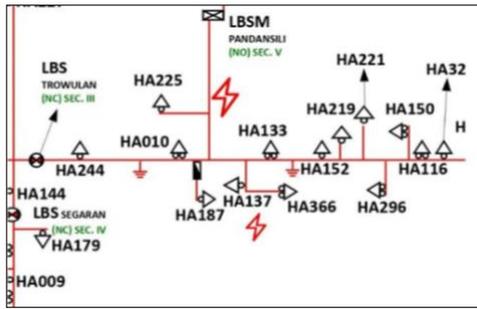
Setelah didapatkan hasil perhitungan maka dapat dilakukan analisis gangguan Penyulang Gading dengan hasil dari P1 dan P2, yang merupakan prediksi untuk tahun 2021 dan 2022, dimana 0 adalah tidak terjadi gangguan sedangkan 5 adalah frekuensi gangguan paling banyak, sehingga dapat diuraikan sebagai berikut:

- a. Tahun 2021, Data tersebut menunjukkan frekuensi gangguan dalam sebulan. Dapat dilihat berturut-turut, kemungkinan terjadi 0 kali gangguan bernilai 89%, dan 1 kali gangguan bernilai 89%.
- b. Tahun 2022, Data tersebut menunjukkan frekuensi gangguan dalam sebulan. Dapat dilihat berturut-turut, kemungkinan terjadi 0 kali gangguan bernilai 11%, dan 1 kali gangguan bernilai 11%.

4.4. Analisis Gangguan

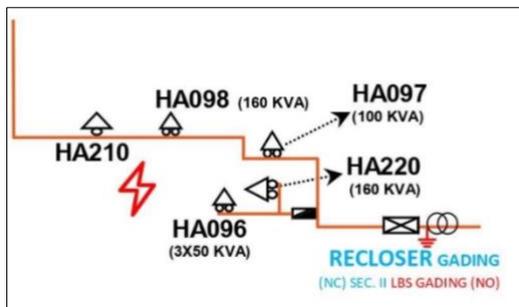
1. Daerah Rawan Gangguan

Daerah rawan gangguan dibuat mengacu dari data rekam gangguan dalam suatu periode. Dalam data rekam gangguan akan terlihat daerah yang sering mengalami gangguan. Dengan hal itu dapat diketahui pemicu dari gangguan yang sering terjadi. Letak geografis suatu daerah juga menjadi faktor dari gangguan penyulang. Berikut peta lokasi daerah rawan gangguan.



Gambar 1. Daerah Rawan Gangguan Penyulang Mojolegi

Dapat dilihat dari gambar 4.1 daerah rawan gangguan Penyulang Mojolegi. Daerah rawan gangguan berada pada section V. Section V dibatasi oleh LBS Trowulan dan LBSM Pandansili. Daerah tersebut mencakup Desa Tlogo Gede, Desa Jati Pasar, dan Dusun Merjoyo.

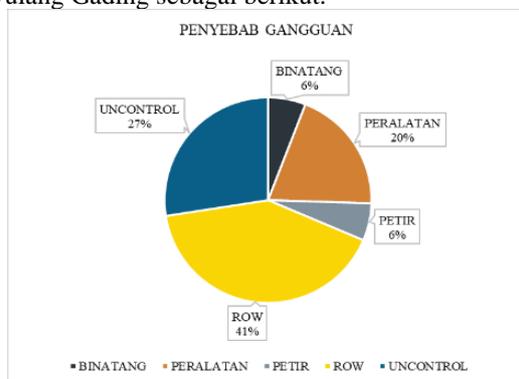


Gambar 2. Daerah Rawan Gangguan Penyulang Gading

Dapat dilihat dari gambar 4.2 daerah rawan gangguan Penyulang Gading. Daerah rawan gangguan berada pada section II. Section II dibatasi oleh Recloser Gading. Daerah tersebut mencakup Desa Kedaton dan Desa Dinuk.

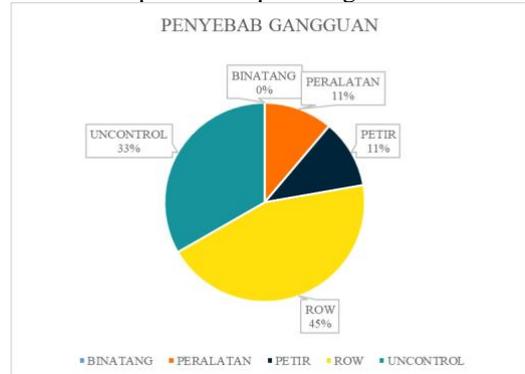
2. Daerah Rawan Gangguan

Dalam proses terjadinya gangguan pasti ada penyebabnya. Penyebab gangguan dibedakan menjadi 5, yaitu ROW, Binatang, Peralatan, Petir, dan Uncontrol. Data tahun 2018-2020 menunjukkan penyebab gangguan pada Penyulang Mojolegi dan Penyulang Gading sebagai berikut.



Gambar 3. Daerah Rawan Gangguan Penyulang Mojolegi

Dari gambar 4.3 dapat diketahui penyebab gangguan pada Penyulang Mojolegi didominasi oleh ROW sebesar 41%. Dapat diartikan bahwa gangguan pada Penyulang Mojolegi kebanyakan diakibatkan oleh pohon ataupun bangunan.



Gambar 4. Daerah Rawan Gangguan Penyulang Gading

Dari gambar 4.4 dapat diketahui penyebab gangguan pada Penyulang Gading didominasi oleh ROW sebesar 45%. Dapat diartikan bahwa gangguan pada Penyulang Mojolegi kebanyakan diakibatkan oleh pohon ataupun bangunan.

4.5. Analisis Peningkatan Keandalan Jaringan

Penyulang Mojolegi dan Penyulang Gading memiliki masalah yang sama. Masalah yang sering menyebabkan gangguan pada kedua penyulang didominasi oleh ROW. Penyulang Mojolegi dan Penyulang Gading memiliki masalah durasi gangguan yang sama yaitu temporer dan permanen. Jenis gangguan yang dialami didominasi oleh gangguan fasa ke tanah, hal tersebut selaras dengan penyebab gangguan yang didominasi ROW. Gangguan yang terjadi masih menyebabkan padam pada PMT yang berarti keandalan jaringan masih buruk.

Pada peta daerah rawan gangguan dapat diketahui daerah yang menyumbang gangguan terbanyak baik Penyulang Mojolegi dan Penyulang Gading. Mengacu peta daerah rawan gangguan kegiatan peningkatan keandalan dapat difokuskan. Daerah rawan gangguan Penyulang Mojolegi berada pada section V, sedangkan Penyulang Gading pada section II. Langkah yang dapat diambil untuk meningkatkan keandalan jaringan penyulang tersebut adalah:

- Melakukan inspeksi jaringan untuk mengetahui daerah yang memiliki potensi gangguan.
- Memetakan daerah rawan gangguan.
- Mengadakan boderless khusus untuk ROW.
- Memeriksa peralatan pengaman secara berkala.
- Uprating peralatan pengaman menjadi otomatis
- Uprating penghantar menjadi kabel MVTIC.
- Melakukan manuver jaringan untuk menjaga keandalan jaringan. inspeksi jaringan untuk mengetahui daerah yang memiliki potensi gangguan.

5. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil analisis dapat disimpulkan indeks keandalan jaringan distribusi tenaga listrik PT PLN (Persero) ULP Mojoagung dilihat dari Penyulang Mojolegi pada tahun 2021 diperkirakan 70,59% Penyulang Mojolegi mengalami gangguan setiap bulannya dengan 29,41% gangguan level G. Sedangkan di tahun 2022 persentase gangguan naik 1,07% dari tahun sebelumnya dengan level gangguan G sebesar 28,63%. Hal tersebut menggambarkan Penyulang Mojolegi masih rawan terjadi gangguan dan mengalami kenaikan persentase gangguan disetiap tahunnya. Dilihat dari Penyulang Gading, pada tahun 2021 diperkirakan 11,43% Penyulang Gading mengalami gangguan setiap bulannya dengan 25,00% gangguan level G. Sedangkan persentase gangguan di tahun 2022 konsisten sebesar 11,43 dengan level gangguan G sebesar 25,00%. Hal tersebut menggambarkan Penyulang Gading masih dalam koridor aman dari gangguan dan bernilai konstan disetiap tahunnya.

Dari hasil analisis menggunakan Markov Model didapatkan kesimpulan bahwa Penyulang Mojolegi rawan terjadi gangguan sedangkan Penyulang Gading tergolong aman.

REFERENSI

- [1] Sukerayasa, Musthopa. 2008. Evaluasi Keandalan Penyulang Dengan Metode Reliability Network Equivalent Approach. Bali: Kampus Bukit Jimbaran, Bali, 80361.
- [2] PT PLN (Persero). 1985. SPLN 59 1985 Keandalan Pada Sistem Distribusi 20 kV dan 60 kV. Jakarta: PT PLN (Persero).
- [3] Direksi PT PLN (Persero). 2005. SKDIR No. 217-1.K/DIR/2005. Surabaya : PT. PLN (Persero) Distribusi Jawa Timur.
- [4] Ramakumar, R. 1993. "Engineering Reliability", "Fundamentals and Applications". Halaman 50-112, New Jersey, Englewood Cliffs.
- [5] Billinton. R, Wang. P, 1998. Reliability Network Equivalent Approach to Distribution System Reliability Evaluation. IEEE Proc-Gener. Distrib, Vol.145, No.2.
- [6] Artana, Ketut Buda. 2006. Handout Bab 1 Rantai Markov Diskrit (Discrete Markov Chain).
- [7] Brown, Richard E. 2009. Electrical Power Distribution Reliability. United State of America: CRC Press.
- [8] Rendika, Dimas Dhea. 2009. Analisis Kinerja Transformator Daya 13.8KV Di PT. Badak NGL Bontang Berdasarkan hasil Uji Minyak Transformator Menggunakan Metode Markov. Skripsi tidak dipublikasikan. Surabaya: Institut Teknologi Sepuluh November.
- [9] Marsudi, Djiteng. 2011. Pembangkitan Energi Listrik Edisi Kedua. Jakarta: Penerbit Erlangga.
- [10] Novia, Mega Andriani, dkk. 2017. Reliabilitas Suatu Mesin Menggunakan Rantai Markov (Studi Kasus: Mesin Proofer di Pabrik Roti Super Jam Banten). Jurnal Matematika Integratif. Volume 15 No 1.
- [11] Junto, Hanny. 2017. Analisa Keandalan Sistem Kelistrikan di Daerah Pelayanan PT PLN (Persero) Area Timika Berbasis SAIDI SAIFI. Jurnal Teknik Elektro. Vol.10, No. 2, 71-74.
- [12] Kusuma. 2018. Penjadwalan Perawatan Mesin Di Industri Menggunakan Metode Markov Chain. Bandung: Universitas Pasundan.
- [13] Marisna Anjani. 2018. Implementasi Metoda Distribusi Monte Carlo dan Rantai Markov untuk Optimalisasi Ketersediaan Cadangan Transformator Daya di Jaringan Transmisi. Seminar Nasional ke 4. Universitas Islam Nusantara.
- [14] Ahmad, Bagus, dkk. 2019. Aplikasi Model Rantai Markov Dalam Pengelolaan Jalan Di Kabupaten Bangkan Barat. Journal of Science and Technologi. 12(2), 141-150.
- [15] Indra, Suhartini. 2019. Penggunaan Metode Markov Chain Dalam Penjadwalan Perawatan Mesin untuk Meminimalkan Biaya Kerusakan Mesin dan Perawatan Mesin Mill 303 di PT. Steel Pipe Industry of Indonesia Unit 3. Journal Of Industrial And Systems Optimization. Vol. 2, No. 1, 11-17..