

Pemanfaatan Simulasi Monte Carlo Untuk Perhitungan Kinerja Gangguan Tenaga Listrik Pada PT PLN (Persero) UIW Suluttenggo

Mohammad Ahsan^{1*}; Yondri Zulfadli^{1,2}; Diksi Erfani Umar^{1,3}

1. Program Studi Pasca Sarjana Teknik Elektro Institut Teknologi PLN, Jakarta Barat, DKI Jakarta 11750, Indonesia

2. PT. PLN UP3 Kebon Jeruk, Jakarta Barat, DKI Jakarta 15155, Indonesia

3. PT. Haleyora Power, Jakarta Selatan, DKI Jakarta 12760, Indonesia

*Email: ahsanmoh@yahoo.com

Received: 22 Desember 2022 | Accepted: 28 Desember 2022 | Published: 01 Januari 2023

ABSTRACT

Electric power is an infrastructure that is needed in everyday life, where most human activities use electricity. The effect of the availability of electricity touches almost all sectors, starting from the household, economic, social, and general, which will continue to increase in line with the increase in population. PT PLN (Persero) is a State-Owned Enterprise that is tasked by the Government to provide reliable electric power, meaning that it is following established quality standards. The quality of electric power reliability includes 2 things: (1) adequacy and (2) system security (security). In this study, researchers tried to simulate electrical disturbance data based on data on the number of electrical disturbances that occurred at PLN UIW Suluttenggo in 7 service units using SAIDI and SAIFI data in 2021 and 2022 using Monte Carlo simulations on Excell spreadsheets. The results of the simulation calculation showed the disturbance performance of the PLN UIW Suluttenggo service unit, with the best combined JA Kiner being UP3 Kotamobagu (2.20), the best SAIDI work was achieved by the Kotamobagu Unit with a performance value (1.30) and the best SAIFI work was achieved by UP3 Palu with a performance value (1.04).

Keywords: *Electrical Interference. SAIDI, SAIFI, Monte Carlo Simulation*

ABSTRAK

Tenaga listrik merupakan infrastruktur yang sangat dibutuhkan dalam kehidupan sehari-hari, dimana sebagian besar aktifitas dari manusia menggunakan tenaga listrik. Pengaruh ketersediaan tenaga listrik hampir menyentuh seluruh sektor mulai dari rumah tangga, ekonomi, sosial dan umum yang akan terus meningkat sejalan dengan bertambahnya jumlah penduduk. PT PLN (Persero) adalah sebuah Badan Usaha Milik Negara yang diberi tugas oleh Pemerintah untuk menyediakan tenaga listrik yang handal artinya sesuai dengan standar mutu yang ditetapkan.

Mutu keandalan tenaga listrik mencakup 2 hal: (1) Kecukupan (adequacy) dan (2) Keamanan sistem (security). Dalam penelitian ini, peneliti mencoba melakukan simulasi data gangguan listrik berdasarkan data jumlah gangguan listrik yang terjadi di PLN UIW Suluttenggo pada 7 unit pelayanan dengan menggunakan data SAIDI dan SAIFI tahun 2021 dan 2022 dengan menggunakan simulasi Monte Carlo pada spread sheet Excell. Hasil simulasi perhitungan menunjukkan kinerja gangguan dari unit pelayanan PLN UIW Suluttenggo, dengan kinerja gabungan terbaik adalah UP3 Kotamobagu (2,20), kinerja SAIDI terbaik dicapai oleh Unit Kotamobagu dengan nilai kinerja (1,30) dan kinerja SAIFI terbaik dicapai oleh UP3 Palu dengan nilai kinerja (1,04).

Kata kunci: *Gangguan Listrik. SAIDI, SAIFI, Simulasi Monte Carlo*

1. PENDAHULUAN

Tenaga listrik merupakan infrastruktur yang sangat dibutuhkan dalam kehidupan sehari-hari, dimana sebagian besar aktifitas dari manusia menggunakan tenaga listrik. Pengaruh ketersediaan tenaga listrik hampir menyentuh seluruh sektor mulai dari rumah tangga, ekonomi, sosial dan umum yang akan terus meningkat sejalan dengan bertambahnya jumlah penduduk. PT PLN (Persero) adalah sebuah Badan Usaha Milik Negara yang diberi tugas oleh Pemerintah untuk menyediakan tenaga listrik yang handal artinya sesuai dengan standar mutu yang ditetapkan.

PT PLN (Persero) adalah sebuah Badan Usaha Milik Negara yang diberi tugas oleh Pemerintah untuk menyediakan tenaga listrik yang handal artinya sesuai dengan standar mutu yang ditetapkan. Mutu keandalan pasokan listrik atau secara istilah disebut "reliability" mencakup 2 hal, yaitu :

- (1) Kecukupan (adequacy) baik dari sisi kualitas atau berkelanjutan dengan mutu tegangan yang disarankan.
- (2) Keamanan (security) artinya aman dari risiko bahaya listrik, respon yang cepat terhadap gangguan listrik yang terintegrasi dengan sistem.

Gangguan listrik jika dilihat dari sistem tenaga listrik dapat terjadi mulai pada sistem pembangkit atau transmisi atau distribusi sehingga memberi peluang timbulnya gangguan listrik lebih luas dengan probabilitas tinggi karena dapat terjadi dari berbagai penyebab seperti faktor alam, usia dan kualitas jaringan, pohon, hewan, manusia dan lainnya yang berdampak pada keandalan sistem.

Keandalan sistem tenaga listrik dapat dirancang dengan sebuah model simulasi menggunakan teori kemungkinan probability karena terjadinya gangguan tidak dapat diprediksi dan kejadiannya berdasarkan probabilitas. Menurut Russell dan Taylor (2011): Model juga divalidasi melalui simulasi, wawancara, dan pengujian parsial. Ketika tim puas bahwa tujuan kinerja dapat dicapai dengan desain baru, maka sebuah studi percontohan dapat dilakukan. Simulasi banyak digunakan karena penerapannya mudah untuk diimplementasikan pada hampir semua masalah.

Dengan penjelasan gangguan listrik dan probabilitas diatas, maka dapat dilakukan suatu simulasi terkait dengan perumusan angka gangguan listrik baik jumlah maupun frekuensi gangguan listrik dalam rangka meningkatkan pelayanan penyaluran listrik kepada konsumen. Dengan demikian penelitian ini diajukan dengan judul Pemanfaatan Simulasi Monte Carlo Untuk Evaluasi dan Pengendalian Gangguan Listrik SAIDI, SAIFI pada PLN Suluttenggo. Rumusan masalah penelitian yaitu bagaimana analisis gangguan listrik baik jumlah maupun frekuensi (SAIDI, SAIFI) dengan menggunakan Simulasi Monte Carlo, dalam memperkirakan jumlah waktu (lama) gangguan dan frekuensi gangguan listrik pada PLN Suluttenggo.

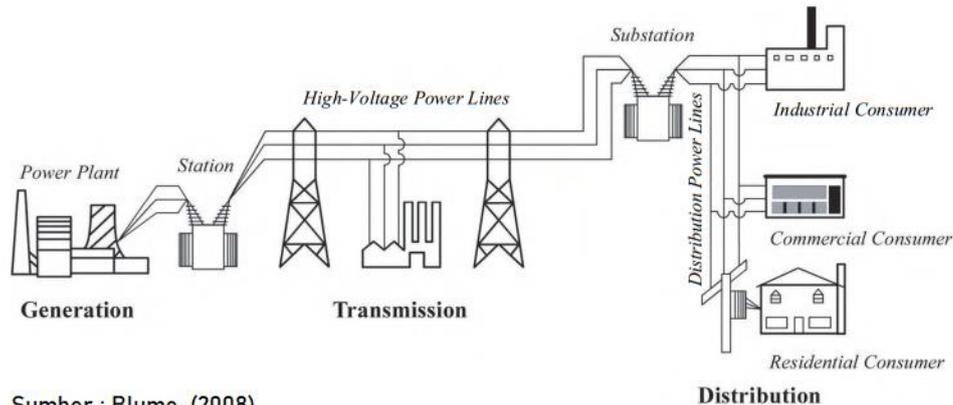
2. TINJAUAN PUSTAKA

2.1. Sistem Kelistrikan

Sistem kelistrikan adalah kumpulan peralatan untuk membangkitkan dan menyalurkan listrik seperti pembangkit, transformator, transmisi, distribusi, dan beban listrik, yang terhubung satu sama lain sehingga merupakan sistem yang terintegrasi. (Murthy, 2007).

Sistem kelistrikan dimulai dengan pembangkitan, dimana energi listrik dihasilkan pembangkit listrik kemudian diubah di pembangkit listrik menjadi tegangan tinggi energi

listrik yang lebih cocok untuk transportasi jarak jauh yang efisien. Pembangkit listrik mengubah sumber energi lain dalam proses menghasilkan energi listrik. Misalnya, panas, mekanik, hidrolik, kimia, energi surya, energi angin, nuklir, dan energi lainnya digunakan dalam produksi energi listrik. Saluran listrik tegangan tinggi (HV) di bagian transmisi sistem tenaga listrik mengangkut secara efisien energi listrik jarak jauh ke lokasi konsumsi. Akhirnya, gardu induk mengubah energi listrik HV ini menjadi energi tegangan rendah yang ditransmisikan melalui saluran listrik distribusi yang lebih cocok untuk pendistribusian energi listrik ke tujuannya, untuk kemudian ditransformasikan kembali untuk konsumsi rumah tangga, komersial, dan industri. (Blume, 2008)



Sumber : Blume, (2008)

Gambar 1. Sistem Kelistrikan; Pembangkit, Transmisi dan Distribusi Kelistrikan

2.1.1. Pembangkit Tenaga Listrik

Pembangkit tenaga listrik adalah suatu peralatan atau mesin untuk menghasilkan energi listrik dengan cara membangkitkan dengan melalui transformasi dari berbagai sumber energi primer. Pembangkit listrik atau pusat tenaga listrik (PLT) di Indonesia sebagian besar masih menggunakan sumber energi dari fosil dan sebagian kecil menggunakan sumber energi dari energi baru terbarukan (EBT). Jumlah dan kapasitas terpasang pembangkit di Indonesia saat ini mengalami pertumbuhan seiring dengan bertambahnya penduduk dan pertumbuhan ekonomi.

Pembangkit energi fosil menggunakan energi panas dari pembakaran minyak, batu bara, gas dimana sumber energi fosil tersebut yang didapat berasal dari bumi, energi tersebut dapat habis pakai dan tidak dapat dimanfaatkan kembali. Pusat listrik energi fosil dibagi menjadi beberapa jenis antara lain PLTD, PLTU, PLTG dan PLTGU. Pembangkit Listrik Energi Terbarukan, antara lain; PLTS, PLTB, PLTBm dan PLTSa.

2.1.2. Sistem Saluran Transmisi

Saluran transmisi merupakan penyaluran energi listrik dari sumber listrik yaitu pembangkit ke sistem distribusi. Saluran transmisi bermuatan listrik dengan tegangan tinggi dan ekstra tinggi 150 kilovolt dan 500 kilovolt selanjutnya disalurkan ke sistem distribusi melalui gardu induk untuk diturunkan tegangannya menjadi tegangan menengah dan tegangan rendah 20 kilovolt dan 220/380 volt yang dapat dipergunakan oleh konsumen besar, menengah dan rumah tangga.

2.1.3. Sistem Saluran Distribusi

Sistem saluran distribusi menyalurkan energi listrik kepada konsumen tegangan menengah dan rendah mulai dari gardu induk (substation) dengan dan peralatan penghubung dan pemutus beban (switching) melalui gardu distribusi selanjutnya disalurkan kepada konsumen tegangan menengah dan rendah.

Salah satu ukuran keberhasilan kinerja pasokan tenaga listrik adalah keandalan karena kinerja ini langsung dirasakan oleh konsumen ketika listrik mengalami gangguan atau tidak handal. Kinerja keandalan dimonitor dengan periode waktu dalam operasi kelistrikan, dan dilakukan analisis untuk mengukur tingkat pencapaian kinerja dan operasi sistem yang dapat dibandingkan dengan standar kinerja dan realisasi kinerja keandalan tahun atau periode sebelumnya untuk melihat perkembangan peningkatan atau penurunan kinerja.

Permintaan akan energi listrik dari konsumen setiap tahun semakin meningkat, untuk memenuhi permintaan listrik tersebut diperlukan sistem kelistrikan yang terus ditingkatkan sesuai dengan pertumbuhan permintaan listrik konsumen. (Marsudi-Djiteng, 2006)

Dalam hal keandalan dan mutu listrik, ada dua hal utama yang perlu menjadi perhatian, yaitu :

- (1) Kecukupan (adequacy); artinya listrik yang disalurkan ke konsumen terjamin dari sisi kualitas tegangan sesuai yang disyaratkan dan daya tersalur sesuai kebutuhan konsumen.
- (2) Keamanan sistem (security); artinya sistem aman dari risiko bahaya listrik, respon yang cepat terhadap gangguan listrik dan tingkat mutu layanan yang sesuai dengan standar kinerja.

2.2. Mutu dan Keandalan Sistem

Keandalan sistem adalah ketersediaan sistem termasuk di dalamnya komponen dan peralatan listrik dalam menyalurkan listrik sesuai dengan harapan atau keinginan konsumen. Tingkat keandalan pelayanan selanjutnya dikenal dengan SAIDI atau lama pemadaman dan SAIFI atau frekuensi terjadinya pemadaman yang selanjutnya akan menjadi salah satu penilaian kinerja bagi PLN dalam melayani konsumennya.

Keandalan sistem sangat tergantung dari keandalan komponen kelistrikan mulai dari pembangkit listrik, saluran transmisi dan saluran distribusi. Gangguan listrik yang tertinggi terjadi pada saluran distribusi karena merupakan peralatan paling ujung dekat dengan konsumen artinya ketika terjadi gangguan saluran transmisi maka secara otomatis saluran distribusi akan terganggu dan demikian juga ketika terjadi gangguan pembangkit akan mempengaruhi saluran transmisi dan saluran distribusi. Belum lagi gangguan listrik yang terjadi di saluran distribusi baik di sisi tegangan menengah maupun tegangan rendah.

Gangguan listrik yang berkepanjangan adalah pemadaman listrik yang terjadi dengan waktu melebihi lima menit, hal ini sesuai dengan standar IEEE 1366 tentang indeks gangguan atau pemadaman listrik. Indeks gangguan tersebut dilakukan dengan perhitungan formula jumlah pemadaman listrik konsumen secara kumulatif dari tahun atau periode sebelumnya. Indeks gangguan atau pemadaman tersebut, yaitu:

- (1) Indeks lama gangguan – SAIDI singkatan dari System Average Interruption Duration Index.
- (2) Indeks jumlah atau frekuensi gangguan – SAIFI singkatan dari System Average Interruption Frequency Index (SAIFI)

2.2.1. Indeks Lama Gangguan - SAIDI

SAIDI merupakan singkatan dari System Average Interruption Duration Index adalah nilai Indeks lama rata rata pemadaman listrik di konsumen. SAIDI dihitung per konsumen dan direkap secara kumulatif dari tahun tahun sebelumnya dan dinyatakan dalam menit pemadaman di konsumen.

SAIDI dihitung dengan formula berikut :

$$SAIDI = \frac{\sum_{i=1}^n U_i N_i}{\sum_{i=1}^n N_i}$$

Dimana :

U_i : durasi listrik tidak tersalurkan

N_i : banyaknya konsumen dalam saluran

N : jumlah keseluruhan konsumen dalam sistem

2.2.2. Indeks Frekuensi Gangguan - SAIFI

SAIFI merupakan singkatan dari System Average Interruption Frequency Index adalah jumlah gangguan rata-rata yang terjadi pada setiap konsumen yang dilayani oleh suatu sistem yang dihitung dalam per satuan waktu dalam satu periode atau tahun.

SAIFI dihitung dengan formula berikut :

$$SAIFI = \frac{\sum_{i=1}^n \lambda_i N_i}{\sum_{i=1}^n N_i}$$

Dimana :

λ_i : laju kegagalan

N_i : banyaknya konsumen pada sistem atau penyulang i

N : jumlah keseluruhan konsumen dalam sistem

Beberapa negara maju termasuk Singapura memiliki SAIDI rata rata tiga menit, artinya ketika terjadi gangguan listrik sistem secara cepat dapat segera melakukan recoveri dengan waktu sekitar tiga menit. Hal ini berbeda pada Singapura, yang memiliki indeks SAIDI dan SAIFI lebih baik karena areal luas wilayahnya yang cukup kecil dan seluruhnya daratan tidak dipisahkan pulau pulau sehingga sistem saluran transmisi dan distribusi tidak serumit dan kompleks seperti pada negara yang terdiri dari pulau pulau.

2.3. Simulasi Monte Carlo

Definisi simulasi menurut Robert Shannon, (1976); Simulasi adalah suatu proses yang melibatkan model perencanaan dari sebuah sistem yang nyata dengan melaksanakan penelitian dan pengujian terhadap suatu model untuk memahami perilaku sistem dan melakukan strategi yang dievaluai.

Menurut Widiatmoko, (2021), memberikan ulasan tentang Metode Monte Carlo yaitu suatu metode sederhana yang menghitung optimisasi operasi pembangkit secara ekonomis. Monte Carlo memakai data acak sebagai data tebakan awal. Nilai optimal dan akurasi hasil dari data acak tersebut sangat ditentukan oleh banyaknya data yang dipergunakan.

Sedangkan menurut Imam Bastori, (2019), memberi pendapat bahwa dasar kasus adalah nilai yang didapatkan dari perhitungan dengan spreadsheet Excel. Nilai dari ecell tersebut kemudian disimulasikan dengan Monte Carlo untuk menghasilkan suatu nilai

ramalan yang ditampilkan dalam bentuk histogram dan statistik deskriptif yang dituliskan dengan nilai minimum atau maksimum atau rata-rata dan deviasi.

Proses Monte Carlo akan menghasilkan suatu variabel acak, yang merupakan "sampling" dari suatu distribusi probabilitas, atau dituliskan $P(x)$. Permintaan mingguan bisa diperoleh secara acak dengan cara memutar roda roulette sesuai probabilitas. Karena simulasi tersebut sangat kompleks, sehingga tidak dimungkinkan untuk dilakukan secara manual, dan dalam hal ini diperlukan bantuan komputer. Simulasi dengan menggunakan komputer dijalankan menggunakan aplikasi spreadsheet Excel. Angka acak dapat dihasilkan oleh spreadsheet Excel dengan angka 0 dan 1 menggunakan formula excell yaitu `RAND()`, dengan angka acak tak terbatas (Russell, 2011).

Penggunaan simulasi untuk menjalankan metode Monte Carlo, melibatkan beberapa parameter untuk dilakukan sebuah perhitungan dari sejumlah besar bilangan acak. Tiap-tiap perhitungan bilangan acak tersebut menggunakan suatu variabel acak, sehingga tingkat akurasi pada Monte Carlo dipengaruhi oleh jumlah literasi perhitungan yang dilakukan, jumlah literasi yang dilakukan berpengaruh terhadap hasil dan tingkat ketelitian.

Kelebihan penggunaan simulasi antara lain kecepatan dan ketepatan dalam mendukung pengambilan keputusan serta informatif sehingga mudah dipahami dan disimpulkan.

2.3.1. Distribusi Frekuensi

Distribusi frekuensi merupakan kondisi yang menggambarkan susunan suatu data menurut interval atau kelas atau kategori dan akan menimbulkan frekuensi angka atau data yang muncul yang tersalur dan terdistribusi. Angka yang tersaji dalam frekuensi distribusi bisa dalam bentuk tabel atau grafik atau gambar yang sering disebut tabel distribusi frekuensi.

Bagian bagian pada suatu distribusi frekuensi dipakai dalam membuat suatu daftar distribusi frekuensi. Bagian-bagian dimaksud merupakan kelompok nilai dari suatu data dan atau suatu variable data acak. Sedangkan batas kelas adalah suatu nilai batas antara kelas. Batas kelas tersebut adalah batas semu dari masing masing kelas, dimana diantara kelas tersebut masih terdapat ruang untuk penempatan angka-angka tertentu. Dalam hal ini ada dua batas kelas berdasarkan data-data yang telah diurutkan, yaitu: batas kelas atas dan batas kelas bawah.

2.3.2. Random Number Generator (RNG)

Random Number Generator - RNG merupakan adalah suatu proses atau program untuk mendapatkan serangkaian bilangan atau angka atau simbol yang urutannya tidak teratur. RNG dapat diaplikasikan pada beberapa bidang, misalnya untuk sampel bidang statistika, kriptografi, aplikasi komputer, model desain dan lainnya.

2.4. Peneliti Terdahulu

Beberapa penelitian terdahulu terkait penggunaan simulasi Monte Carlo, antara lain:

- 1) Berdasarkan penelitian Budiani et al., (2020): menulis bahwa hasil prediksi jumlah penumpang pada tahun 2019 yang dihasilkan dari simulasi Monte Carlo dan forecasting DMA menggunakan aplikasi Ms Excel menunjukkan bahwa hasil peramalan menggunakan DMA lebih mendekati hasil data BPS. Hasil prediksi

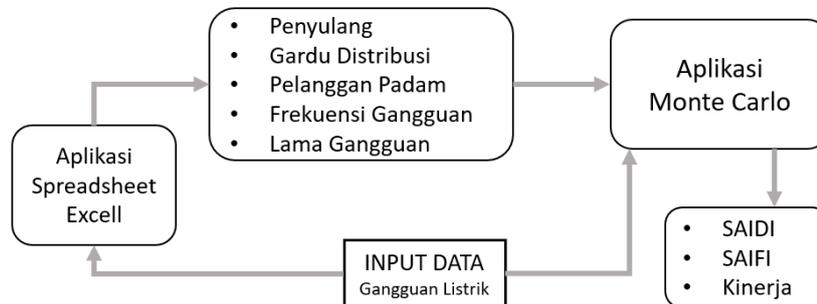
untuk tahun 2020 dari peramalan menggunakan DMA menunjukkan bahwa akan terjadi lonjakan penumpang di tahun 2020 sebesar 27.16%.

- 2) Penelitian Imam Bastori, (2019): menemukan bahwa; kajian dengan metoda Monte Carlo memiliki keunggulan dibandingkan cara lain karena akan menghasilkan keluaran kuantitatif yang sesuai dengan dunia nyata. Hasil kajian menunjukkan bahwa NPV (Net Present Value) merupakan parameter ekonomi yang memiliki ketidakpastian paling tinggi (16,71%) diikuti oleh parameter periode pengembalian investasi (4,8%), IRR (2,96%) dan terakhir biaya pembangkitan listrik (1,16%).
- 3) Penelitian Sutisna & Makadadus, (2019); menuliskan bahwa; mesin diesel yang digunakan untuk mensuplai daya listrik ke konsumen perlu dilakukan pemeliharaan untuk menjaga kualitas KWH dihasilkan dari kegiatan pemeliharaan dan dapat digunakan dalam jangka panjang. Monte Carlo teknik simulasi digunakan untuk menentukan penjadwalan perawatan mesin dapat mengurangi kemungkinan keadaan yang tidak terduga.

3. METODE PENELITIAN

Penelitian ini menggunakan pendekatan literatur deskriptif kuantitatif, yaitu yaitu suatu metode penelitian yang dilakukan dengan mengkaji literatur yang berhubungan dengan penelitian ini untuk dijadikan acuan dalam pemecahan masalah penelitian. Pendekatan deskriptif kuantitatif yaitu suatu metode dengan cara melakukan analisis data yang sudah ada yang sesuai dengan masalah yang diteliti.

Penelitian ini merumuskan suatu kerangka penelitian pada gambar 2.



Gambar 2. Kerangka Penelitian

3.1. Variabel yang Diteliti

Pada penelitian ini, variabel yang diteliti yaitu jumlah gangguan listrik periode tahun 2021 dan 2022 pada PLN Suluttenggo.

3.2. Jenis Data

Jenis data yang digunakan dalam penelitian ini yaitu data sekunder. Data tersebut dianggap relevan dengan penelitian ini seperti laporan gangguan listrik tahun 2021 dan 2022, laporan kinerja pelayanan gangguan listrik dan data lainnya dari berbagai kepustakaan pada PLN Suluttenggo.

3.3. Prosedur Pelaksanaan

Adapun tahapan dalam penelitian ini yaitu pada tahap awal dilakukan studi kepustakaan dengan maksud mengumpulkan literatur atau bahan materi untuk referensi yang diperoleh dari beberapa sumber berupa artikel, jurnal, buku dan literatur lainnya yang terkait dan relevan dengan kelistrikan, serta dari dari internal PLN Suluttenggo yang berhubungan dengan gangguan listrik dan kinerja. Selanjutnya data tersebut diolah dengan menggunakan spread excell untuk menghitung simulasi angka gangguan dengan metode spread excell dan metode Monte Carlo. Hasil perhitungan dan kesimpulan selanjutnya ditampilkan dalam tabel untuk memudahkan membaca hasil perhitungan dan analisis.

3.4. Pengolahan data

Melakukan identifikasi tentang jumlah gangguan listrik baik lama gangguan maupun frekuensi gangguan serta realisasi kinerja kelistrikan di wilayah Suluttenggo tahun 2021 dan 2022, dan selanjutnya melakukan pengolahan dengan model metode Monte Carlo.

4. HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1. Analisis Data

Pada penelitian ini, data yang akan dianalisis yaitu jumlah gangguan listrik tahun 2021 dan 2022 yang diperoleh dari PLN Suluttenggo dan unit area pelayanannya.

4.2. Analisis Monte Carlo

4.2.1. Nilai Min dan Max

Nilai minimal (Min) adalah nilai yang paling kecil dari sebuah data yang digunakan dalam penelitian ini. dan nilai Maksimum (Max) adalah nilai terbesar dari sebuah data dalam penelitian ini. Data tersebut dapat dilihat pada Tabel 1 berikut.

Tabel 1. Gangguan Listrik SAIDI, SAIFI, kWh Lost Tahun 2021 dan 2022

UNIT PLN	TAHUN	SAIDI - Lama Padam (Jam)		SAIFI - Frekuensi Padam (Plg)		KWH_LOST kWh
		Target	Realisasi	Target	Realisasi	
UP3 GORONTALO	2021	1.017,40	773,86	15,28	13,59	281.367,64
UP3 GORONTALO	2022	774,83	616,42	13,57	10,70	228.820,62
UP3 KOTAMOBAGU	2021	2.053,46	1.696,88	27,36	29,01	574.765,42
UP3 KOTAMOBAGU	2022	1.597,08	951,59	24,01	18,86	256.231,91
UP3 LUWUK	2021	655,24	673,76	8,79	8,02	481.491,09
UP3 LUWUK	2022	1.145,72	1.127,44	16,63	10,75	653.393,55
UP3 MANADO	2021	1.168,88	1.135,59	14,85	17,44	1.493.404,97
UP3 MANADO	2022	1.137,44	844,63	16,95	14,14	1.164.334,22
UP3 PALU	2021	1.541,22	1.217,22	22,59	18,31	1.436.617,62
UP3 PALU	2022	1.191,28	1.071,45	17,77	16,58	1.174.947,07
UP3 TAHUNA	2021	1.495,24	1.520,85	17,81	16,46	150.977,18
UP3 TAHUNA	2022	1.493,79	1.217,62	16,52	15,17	127.266,19
UP3 TOLITOLI	2021	1.070,35	755,47	14,57	12,26	118.069,34
UP3 TOLITOLI	2022	1.132,86	726,45	17,12	8,64	111.957,84
Total	2021	1.273,51	1.089,24	17,52	16,67	4.536.693,27
Total	2022	1.145,93	910,42	16,95	13,93	3.716.951,39
RATA2 Per tahun		1.209,72	999,83	17,24	15,30	4.126.822,33

Sumber : PT PLN (Persero)

4.3. Analisis dengan Simulasi Monte Carlo

4.3.1. Nilai Min dan Max

Nilai minimal (Min) merupakan nilai terkecil dari sebuah data dan nilai Maksimum (Max) merupakan nilai yang paling besar dari sebuah data. Nilai min dan max disajikan dalam tabel analisis perhitungan Monte Carlo pada masing – masing unit pelayanan seperti pada Tabel 2.

Tabel 2. Nilai Min, Max dan Monte Carlo SAIDI SAIFI

UNIT	Data SAIDI			Data SAIFI		
	MIN	MAX	Monte Carlo	MIN	MAX	Monte Carlo
1	2	3	4	5	6	7
UP3 Gorontalo	0,39	1,37	1,25	0,54	1,58	1,50
UP3 Kotamobagu	0,52	4,95	2,00	0,56	4,01	2,50
UP3 Luwuk	0,48	2,87	1,45	0,41	1,29	1,10
UP3 Manado	0,69	2,28	1,65	0,75	2,03	1,90
UP3 Palu	0,94	2,57	1,85	1,02	2,28	1,80
UP3 Tahuna	0,44	2,58	2,15	0,67	2,71	1,90
UP3 Tolitoli	0,14	2,55	1,25	0,21	1,74	1,30

4.2.2. Distribusi Frekuensi

Setelah diperoleh nilai Min dan Max, tahap berikutnya adalah membuat range interval awal sampai dengan interval akhir dari selisih nilai maksimum tertinggi. Hasil perhitungan dengan program excell dan simulasi Monte Carlo untuk SAIDI, SAIFI seperti terlihat pada Tabel 3 dan 4.

Tabel 3. Hasil Simulasi Monte Carlo SAIDI UP3 Gorontalo

Lama_padam						Uji Monte Carlo - SAIDI				Lama Padam (Jam)	
Lama Padam	Frekuensi	Probabilitas	Kumulatif	Pengamatan n (10 hr)	Range	Rata2 SAIDI	Simulasi Hari	Angka Random	n (Simulasi)		
0,5	1	0,04	0,04	0,4	0 - 0,4	0,02	1	8,00	1,50		
1,0	11	0,46	0,50	4,6	>0,4 - 5	0,46	2	10,00	1,50		
1,5	12	0,50	1,00	5,0	>5 - 10	0,75	3	2,00	1,00		
2,0	0	0,00	1,00	0,0		0,00	4	2,00	1,00		
2,5	0	0,00	1,00	0,0		0,00	5	8,00	1,50		
3,0	0	0,00	1,00	0,0		0,00	6	5,00	1,00		
4,0	0	0,00	1,00	0,0		0,00	7	1,00	1,00		
	24	0,96		10,00		1,23	8	10,00	1,50		
						rata2	9	10,00	1,50		
						rata2	10	3,00	1,00		
						MIN		jumlah	12,50		
						MAX		Average	1,25		

Hasil simulasi perhitungan Monte Carlo untuk SAIDI pada UP3 lainnya yaitu; UP3 Kotamobagu, Luwuk, Manado, Palu, Tahuna dan Tolitoli telah dilakukan dengan perhitungan yang sama pada Tabel 3 diatas menggunakan aplikasi excell. Hasil perhitungan terlihat pada Tabel 4.

Tabel 4. Hasil Simulasi Monte Carlo SAIFI UP3 Gorontalo

X_padam						Uji Monte Carlo - SAIFI			
x Padam	Frekuensi	Probabilitas	Kumulatif	Pengamatan (10 hr)	Range	Rata2 SAIFI	Simulasi Hari	Angka Random	Pemintaan (Simulasi)
1,0	11	0,46	0,46	4,6	0 - 4,6	0,46	1	10,00	2,00
2,0	13	0,54	1,00	5,4	>4,6 - 10	1,08	2	10,00	2,00
3,0	0	0,00	1,00	0,0		0,00	3	2,00	1,00
	24	1,00		10,00		1,54	4	7,00	2,00
						1,54	5	4,00	1,00
						1,01	10	3,00	1,00
					MIN	0,54		jumlah	15,00
					MAX	1,58		Average	1,50

4.3. Hasil Pembahasan

Hasil perkiraan untuk mengetahui SAIDI, SAIFI berdasarkan data gangguan listrik tahun 2021 dan 2022 dengan menggunakan simulasi Monte Carlo didapat dari angka acak yang sudah dibangkitkan dari metode diatas, yang mana nilai-nilai angka acak tersebut akan disesuaikan dengan nilai interval angka acak.

Berdasarkan Tabel 3 dan 4 menunjukkan bahwa hasil perhitungan SAIDI, SAIFI menggunakan formula excell maupun dengan simulasi Monte Carlo menunjukkan hasil yang hampir sama. Penjelasan ini juga ditunjukkan pada tabel rekap hasil perhitungan SAIDI, SAIFI tabel 5.

Tabel 5. Hasil Perhitungan SAIDI dan Kinerja

UNIT	SAIDI - Lama Listrik Padam Rata2 Perbulan			Hasil Perhitungan - SAIDI		Kinerja	
	Plg_Padam	Frekuensi	kWh Lost	Excell	Monte Carlo	Target	Pencapaian
1	2	3	4	5	6	7	8 = 6/7
UP3 Gorontalo	1,00	11,00	510.188,26	1,23	1,25	1,4	1,12
	1,50	12,00					
	2,00	-					
	2,50	-					
UP3 Kotamobagu	0,50	-	830.997,33	2,00	2,00	2,9	1,30
	1,00	5,00					
	1,50	9,00					
	2,00	-					
UP3 Luwuk	1,00	9,00	1.134.884,64	1,48	1,45	0,9	0,41
	1,50	7,00					
	2,00	5,00					
UP3 Manado	1,00	4,00	2.657.739,18	1,67	1,65	1,6	0,98
	1,50	10,00					
	2,00	8,00					
UP3 Palu	1,00	2,00	2.611.564,69	1,83	1,85	2,1	1,14
	1,50	8,00					
	2,00	11,00					
UP3 Tahuna	1,00	2,00	278.243,37	2,13	2,15	2,1	0,96
	1,50	3,00					
	2,00	9,00					
	2,50	6,00					
	3,00	1,00					
UP3 Tolitoli	0,50	4,00	230.027,18	1,29	1,25	1,5	1,16
	1,00	11,00					
	1,50	4,00					
	2,00	3,00					
	2,50	-					
	3,00	2,00					
	3,50	-					
	4,00	-					
Total			8.253.644,66	11,63	11,60	40,48	7,06
RATA2 Per bulan			344.268,07	0,48	0,48	1,69	0,29

Sumber : PT PLN (Persero) - data diolah

Berdasarkan hasil perhitungan kinerja SAIDI diatas, menunjukkan bahwa kinerja SAIDI belum tercapai, artinya lama gangguan di wilayah Suluttenggo masih cukup tinggi dibanding target atau SLA yang disepakati. Pencapaian tertinggi artinya lama gangguan terbaik dicapai oleh UP3 Kotamobagu dengan pencapaian kinerja 130% atau rata rata lama gangguan 2 jam dari target 2,85 jam 100% karena berhasil melakukan upaya percepatan pemulihan pemadaman listrik. Sedangkan pencapaian terendah oleh UP3 Luwuk dengan pencapaian kinerja 41%.

Untuk hasil perhitungan jumlah frekuensi gangguan dijelaskan pada Tabel 6. berikut.

Tabel 6. Hasil Perhitungan SAIFI dan Kinerja

UNIT	SAIFI - Frekuensi Listrik Padam Rata2 Perbulan			Hasil Perhitungan - SAIFI		Kinerja	
	x Padam	Frekuensi	kWh Lost	Excell	Monte Carlo	Target	Pencapaian
1	2	3	4	5	6	7	8 = 6/7
UP3 Gorontalo	1,00	11,00	510.188,26	1,54	1,50	1,3	0,82
	2,00	13,00					
	3,00	-					
UP3 Kotamobagu	1,00	1,00	830.997,33	2,54	2,50	2,3	0,90
	2,00	14,00					
	3,00	5,00					
UP3 Luwuk	1,00	21,00	1.134.884,64	1,13	1,10	0,7	0,50
	2,00	3,00					
	3,00	-					
UP3 Manado	1,00	3,00	2.657.739,18	1,92	1,90	1,2	0,46
	2,00	20,00					
	3,00	1,00					
UP3 Palu	1,00	5,00	2.611.564,69	1,83	1,80	1,9	1,04
	2,00	18,00					
	3,00	1,00					
UP3 Tahuna	1,00	3,00	278.243,37	1,92	1,90	1,5	0,72
	2,00	20,00					
	3,00	1,00					
UP3 Tolitoli	1,00	16,00	230.027,18	1,33	1,30	1,2	0,93
	2,00	8,00					
	3,00	-					
	4,00	-					
Total			8.253.644,66	12,21	12,00	10,10	5,38
RATA2 Per bulan			343.901,86	0,51	0,50	0,42	0,22

Sumber : PT PLN (Persero)

Berdasarkan hasil perhitungan kinerja SAIFI diatas, menunjukkan bahwa kinerja SAIFI hanya UP3 Palu berhasil mencapai target kinerja SAIFI 104% artinya frekuensi gangguan lebih kecil yaitu rata rata 1,8 x dari target 1,9x. Sedangkan SAIFI untuk unit lainnya belum tercapai atau masih dibawah 100% dan pencapaian SAIFI terendah oleh UP3 Luwuk dengan pencapaian kinerja 50% atau rata rata frekuensi gangguan 1,1 x dari target 0,7 x perpelanggan.

Gangguan atau listrik padam memberikan dampak tidak hanya di level rumah tangga, namun juga level perusahaan sehingga padamnya listrik terjadi misalnya di industri manufaktur yang memproduksi barang dapat memberikan kerugian bagi konsumen maupun PLN. Gangguan listrik yang terjadi baik secara frekuensi dan lama gangguan memberi konsekwensi hilangnya tenaga listrik (kWh) yang tidak dapat dijual yang merupakan kerugian (lost) kWh sebesar 8.253.644,66 kWh atau setara Rp. 13.205.831.000,- atau sebesar 343.901,86 kWh setara Rp. 550.242.000,- per bulan. (Perhitungan tarif listrik sesuai TDL 2022 Rp. 1.666,- / kWh).

Tabel 7. Kinerja SAIDI, SAIFI Tahun 2021 dan 2022

UNIT	Kinerja SAIDI			Kinerja SAIFI			Nilai Kinerja SAIDI SAIFI
	Target	Realisasi	Pencapaian	Target	Realisasi	Pencapaian	
1	2	3	4=3/2	5	6	7=6/5	8=4 +7
UP3 Gorontalo	1,41	1,25	1,12	1,27	1,50	0,82	1,94
UP3 Kotamobagu	2,85	2,00	1,30	2,28	2,50	0,90	2,20
UP3 Luwuk	0,91	1,45	0,41	0,73	1,10	0,50	0,91
UP3 Manado	1,62	1,65	0,98	1,24	1,90	0,46	1,45
UP3 Palu	2,14	1,85	1,14	1,88	1,80	1,04	2,18
UP3 Tahuna	2,08	2,15	0,96	1,48	1,90	0,72	1,68
UP3 Tolitoli	1,49	1,25	1,16	1,21	1,30	0,93	2,09
Total	12,50	11,60	7,06	10,10	12,00	5,38	12,45
RATA2	1,79	1,66	1,01	1,44	1,71	0,77	1,78

Sumber : PT PLN (Persero)

Berdasarkan Tabel 7, menunjukkan bahwa Kinerja SAIDI SAIFI secara gabungan yang terbaik dicapai oleh Unit UP3 Kotamobagu dengan nilai kinerja 2,20, Kinerja SAIDI terbaik dicapai oleh Unit Kotamobagu dengan nilai kinerja 1,30 dan Kinerja SAIFI terbaik dicapai oleh UP3 Palu dengan nilai kinerja 1,04.

Hasil perkiraan untuk mengetahui SAIDI, SAIFI berdasarkan data gangguan listrik tahun 2021 dan 2022 dengan menggunakan simulasi Monte Carlo didapat dari angka acak yang sudah dibangkitkan dari metode diatas, yang mana nilai-nilai angka acak tersebut akan disesuaikan dengan nilai interval angka acak pada Tabel dibawah ini.

Simulasi Monte Carlo pada penelitian selanjutnya yang sejenis seperti ini dapat dikembangkan untuk melakukan simulasi terkait gangguan listrik seperti CAIFI - Consumer Average Interruption Frequency Index, CAIDI - Consumer Average Interruption Duration Index dan MAIFI - Momentary Average Interruption Frequency Index.

5. KESIMPULAN

Simulasi Monte Carlo adalah model simulasi yang mengikutsertakan serangkaian acak dan sampling dengan distribusi probabilitas yang dapat diketahui dan ditentukan, maka simulasi ini dapat digunakan. Dalam penelitian ini, data diambil dari jumlah dan frekuensi gangguan listrik PLN Suluttenggo tahun 2021 dan 2022.

Perhitungan dengan simulasi Monte Carlo dan aplikasi Excel menunjukkan hasil yang sama dimana perhitungan menunjukkan bahwa Kinerja SAIDI SAIFI secara gabungan yang terbaik dicapai oleh Unit UP3 Kotamobagu dengan nilai kinerja 2,20, Kinerja SAIDI terbaik dicapai oleh Unit Kotamobagu dengan nilai kinerja 1,30 dan Kinerja SAIFI terbaik dicapai oleh UP3 Palu dengan nilai kinerja 1,04.

Simulasi Monte Carlo dapat digunakan untuk pembuatan prediksi dan evaluasi, tidak terdapat perbedaan yang signifikan anatar hasil perhitungan analisis SAIDI, SAIFI antara formula excell dan simulasi Monte Carlo sehingga simulasi Monte Carlo dapat direkomendasikan untuk digunakan pada pengembangan evaluasi SAIDI, SAIFI maupun kinerja operasional PLN Suluttenggo.

Untuk penelitian sejenis dapat dipertimbangkan variabel-variabel lain yang terkait dengan jumlah dan frekuensi gangguan listrik seperti CAIFI - Consumer Average Interruption Frequency Index, CAIDI - Consumer Average Interruption Duration Index dan MAIFI - Momentary Average Interruption Frequency Index.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] R. Undang Undang RI No 30, “Undang Undang RI Nomor 30 Tahun 2009 Tentang Ketenagalistrikan,” 2009, doi: 10.1038/132817a0.
- [2] R. S. Russell, *Operations Management Creating Value Along the Supply Chain*. John Wiley & Sons, Inc., 2011.
- [3] UU RI No 30 Tahun, “Undang Undang RI Nomor 30 Tahun 2007,” vol. 4, no. 1. pp. 83–111, 2007, doi: 10.4018/jgc.2013010106.
- [4] P. P. S. R. Murthy, *Power System Analysis*, vol. 53, no. 9. BS Publication, 2007.
- [5] S. W. Blume, *Electric power system basics: for the nonelectrical professional*, vol. 45, no. 08. 2008.
- [6] Marsudi-Djiteng, “Operasi Sistem Tenaga Listrik,” *Graha Ilmu*, 2006.
- [7] N. 18 UU RI, “Undang-Undang Republik Indonesia Nomor 18 Tahun 2008 Tentang Pengelolaan Sampah,” in *Physical Review A*, vol. 100, no. 1, 2008, pp. 1612–1616.
- [8] K. A. Widiatmoko, “Optimalisasi Operasi Ekonomis PLTMG Pada Kawasan Industri Dengan Metode Monte Carlo,” *J. Ilm.*, vol. 13, no. 2, pp. 123–130, 2021.
- [9] N. Imam Bastori, “Analisis Risiko Proyek PLTN Dengan Pendekatan Kuantifikasi Monte Carlo,” pp. 213–221, 2019.
- [10] B. Budiani, I. Bunga, S. Amalia, and F. Gumelar, “Analisa Perbandingan Peramalan Data Penumpang PT KAI Antara Metode Simulasi Monte Carlo dan Double Moving Average,” *J. Ilm. Teknol. Inf. Terap.*, vol. 6, no. 3, pp. 176–183, 2020.
- [11] F. Sutisna and C. W. Makadadus, “Simulasi Penjadwalan Kegiatan Pemeliharaan Mesin Pembangkit Listrik Tenaga Diesel pada PT PLN (Persero) Sub Rayon Mangaran,” *J. Bina Manaj.*, vol. Vol.7 No.2, pp. 196–207, 2019.
- [12] J. Suprpto, C. G. Irianto, and R. R. A. Siregar, “Analisis Trafo Scott Mengatasi Penurunan Kapasitas Daya Akibat Distorsi Harmonik”, *energi*, vol. 12, no. 2, pp. 90–99, Dec. 2020.
- [13] R. F. Ningrum, R. R. A. Siregar, and D. Rusjdi, “Penerapan Sistem SCADA Dalam Perancangan Model Inferensi Logika Fuzzy Mamdani Pada Pembebanan Trafo Gardu Distribusi”, *petir*, vol. 13, no. 2, pp. 110–118, Sep. 2020.
- [14] N. R. Hikmiyah, R. R. A. Siregar, B. Prayitno, D. T. Kusuma, and N. G. Pahiyanti, “Metode Fuzzy Subtractive Clustering Dalam Pengelompokkan Penggunaan Energi Listrik Rumah Tangga”, *petir*, vol. 14, no. 2, pp. 269–279, Sep. 2021.
- [15] K. A. Widiatmoko, “Optimalisasi Operasi Ekonomis PLTMG Pada Kawasan Industri Dengan Metode Monte Carlo”, *energi*, vol. 13, no. 2, pp. 123–130, Dec. 2021.