

Perhitungan *Loss of Load Probability (LOLP)* dengan Metode Monte Carlo

Irna Tri Yuniahastuti^{1*}

¹Universitas PGRI Madiun, Madiun

*Penulis Korespondensi, email: irmatri@unipma.ac.id

Received:13/06/2023

Revised:17/06/2023

Accepted:22/06/2023

Abstract. Calculation of the constraints on the PLTU Anggrek 2x25 MW Gorontalo power plant using the monte carlo method obtained a LOLP value of 35.55 days/year carried out with 2 runs, namely 200 samples and 500 samples. This value is still above the PLN standard reliability value, this is because in unit 2 there was a PO (Planned Outage) and MO (Maintance Outage) in June-July 2021, namely in the form of a first year inspection in July. The FOR (Force Outage Rate) value is calculated based on disturbance data from power plants in 2021. Meanwhile, by manually calculating the LOLP value, the result is 37.84 days/year.

Keywords: Loss of Load Probability (LOLP), reability unit, Force Outage Rate (FOR), Maintance Outage (MO)

Abstrak. Perhitungan kendalan pada pembangkit PLTU Anggrek 2x25 MW Gorontalo dengan metode monte carlo didapatkan nilai LOLP sebesar nilai 35,55 hari/ tahun dilakukan dengan 2 kali running yaitu 200 sampel dan 500 sampel. Nilai ini masih diatas nilai keandalan standar PLN, hal ini disebabkan pada unit 2 terjadi PO (Planned Outage) dan MO (Maintance Outage) pada bulan Juni-Juli 2021 yaitu berupa *first year inspection* pada bulan Juli. Nilai FOR (Force Outage Rate) dihitung berdasarkan data gangguan dari pembangkit di tahun 2021. Sedangkan dengan perhitungan manual perhitungan nilai LOLP didapatkan hasil 37,84 hari/ tahun.

Kata Kunci: Loss of Load Probability (LOLP), keandalan pembangkit, Force Outage Rate (FOR), Maintance Outage (MO)

I. PENDAHULUAN

Suatu sistem pembangkit listrik harus menyediakan listrik sesuai dengan yang dibutuhkan oleh pelanggan. Suatu pembangkit yang besar jika mengalami kegagalan/ *outage* menyebabkan kemungkinan daya yang tersedia di sistem mengalami kekurangan daya besar sehingga sistem tidak mampu memenuhi besarnya permintaan konsumen. Keadaan generator ketika cadangan energi yang ada tersedia dan fluktuasi beban sementara menyebabkan penghentian paksa, keadaan ini disebabkan oleh beban puncak. Nilai pemadaman paksa dapat ditentukan dengan menghitung *probability* kehilangan beban atau pemadaman beban. Perhitungan analisis tersebut dinamakan sebagai nilai indeks *Loss of Load Probability (LOLP)*, atau kemungkinan kehilangan beban.

Kemungkinan kehilangan beban/ LOLP dinyatakan dalam hitungan hari/tahun mempunyai pengertian probabilitas/ kemungkinan yang menunjukkan besarnya beban yang tidak mampu dilayani oleh pembangkit atau kehilangan/lepas beban karena kemampuan pembangkit yang tersedia (*usable capacity*) sama dengan atau kurang dari kapasitas beban sistem yaitu nilai gangguan sesuai dengan standar PLN yaitu 1 hari/ tahun [1]. Untuk menentukan keandalan suatu sistem tenaga listrik salah satu metode yang digunakan adalah dengan menggunakan metode Monte Carlo. Metode ini menggunakan sampling nilai acak dari penjumlahan dari kombinasi beberapa unit pembangkit dalam mendistribusikan kebutuhan beban yang fluktuatif. Simulasi monte carlo bekerja diawali dengan membangkitkan bilangan acak dengan distribusi seragam (0,1) lalu mengubah menjadi distribusi tidak seragam menggunakan metode transformasi invers. Keuntungan dari

simulasi monte carlo adalah mudah digunakan dan mendekati nilai yang sebenarnya. Penelitian yang serupa pada waktu yang lalu berkaitan dengan topik ini [2] [3] [4].

PLTU Anggrek berada di Kecamatan Anggrek, Kabupaten Gorontalo utara, provinsi Gorontalo. PLTU Anggrek atau yang disebut PLTU Gorontalo tergolong pembangkit baru karena baru beroperasi pada tahun 2019 meskipun mulai dibangun sejak 2007. Pembangkit dengan bahan bakar batubara dan *woodchip* lamtoro mempunyai 2 pembangkit dengan kapasitas masing-masing 25 MW [5]. PLN melakukan inovasi dengan melakukan *co-firing* di PLTU Gorontalo, men-substitusi batubara sebesar 5% dengan menggunakan bahan bakar kayu lamtoro sebagai biomassa yang diperoleh dari hutan energi di sekitar proyek. Selain PLTU Anggrek, di Gorontalo juga sedang mengembangkan beberapa pembangkit antara lain Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) Sumalata, selain itu ada Pembangkit Listrik Tenaga Mikrohidro (PLTM) Mongango dan Taluda.

II. METODOLOGI

Keandalan (*Reability*) dapat diartikan kemampuan sistem ketenagalistrikan untuk memasok beban kepada pelanggan dengan cara tetap menjaga kualitas dan harga listrik pada tingkat yang masih mampu diterima [6]. Terdapat 4 faktor utama yang berkaitan dengan keandalan, yaitu fungsi kerja yang sesuai, probabilitas, kondisi operasi dan periode waktu. Pada penelitian ini, perhitungan keandalan yang dihitung adalah nilai LOLP. Kemungkinan kehilangan beban/ LOLP atau Probabilitas kehilangan beban dapat dihitung dengan perkalian kemungkinan terjadinya beban (*probability*) dengan lamanya terjadinya kehilangan beban dinyatakan dalam hari per tahun [7]. Dinyatakan dengan rumus pada Persamaan (1).

$$LOLP = P \times t \quad (1)$$

P = probabilitas kumulatif kombinasi

t = durasi kehilangan beban

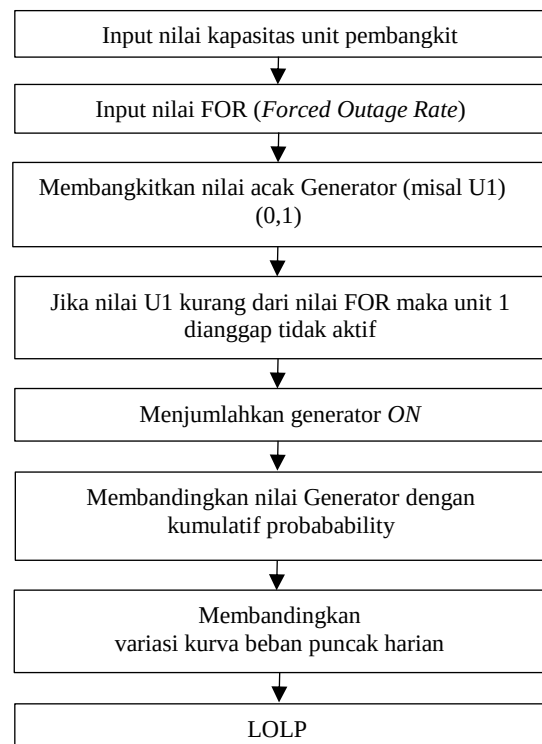
Besarnya nilai LOLP memberikan kemungkinan kapasitas pembangkit yang tersedia untuk memenuhi kebutuhan beban puncak harian.

Ketidakhandalan sistem dapat dilihat jika sistem tidak mampu memenuhi kebutuhan pelanggan saat beban puncak. Hilangnya beban terjadi jika permintaan sistem saat beban puncak melampaui kapasitas yang tersedia [8]. Data beban yang digunakan adalah data beban pada pembangkit PLTU Anggrek 2x25 MW Gorontalo.

Daya unit yang tersedia bergantung pada daya terpasang dalam sistem dan juga pada ketersediaan unit tersebut. Beberapa faktor antara lain malfungsi dan perawatan rutin (*maintance outage* atau *planned outage*) akan mengakibatkan unit pembangkit tidak dapat beroperasi. Cadangan energi yang tersedia dan besaran FOR (*Forced Outage Rate*) unit produksi yang beroperasi dalam setahun sangat berpengaruh terhadap keandalan sistem produksi. Semakin rendah nilai FOR, semakin aman ketersediaan cadangan daya sistem dan semakin tinggi *reability* sistem

FOR (*Forced Outage Rate*) adalah ukuran apakah suatu unit pembangkit tersebut sering mengalami gangguan/*outage* atau tidak. Serta dihitung dalam rumus sebagai berikut :

$$FOR = \frac{\sum jam \text{ unit terganggu}}{\sum jam \text{ unit terganggu} + \sum jam \text{ unit beroperasi}} \quad (2)$$



Gambar 1. Flowchart LOLP

Flowchart perhitungan nilai LOLP dengan Monte carlo dapat ditunjukkan pada Gambar 1.

Metode Perhitungan nilai LOLP yang akan dilakukan dengan membandingkan 2 cara, yaitu dengan perhitungan manual dan dengan metode Montecarlo.

A. Teori Probabilitas

Lebih khusus lagi, probabilitas didefinisikan sebagai fungsi spesifik yang sebenarnya dari suatu peristiwa. Nilai probabilitas berkisar dari 0 hingga 1, dengan nilai probabilitas 1 berarti suatu peristiwa yang pasti akan terjadi, begitu pula sebaliknya nilai probabilitas 0 berarti peristiwa yang tidak mungkin terjadi.

B. Metode Montecarlo

Parameter dasar penilaian nilai keandalan adalah estimasi matematis dari reliabilitas. Karakteristik utama penilaian reliabilitas metode Monte Carlo dijelaskan pada bagian berikut, contoh: misal nilai 0 adalah kemungkinan kegagalan dari sebuah sistem dan X_i dinyatakan dengan variabel indikator nilai 1 dan 0 yang menyatakan bahwa: $X_i = 0$ Jika sistem dalam keadaan *down state* dan Jika sistem dalam keadaan *up state* $X_i = 1$. Ketidaksediaan dari suatu sistem dapat dihitung dengan rumus berikut:

$$\bar{O} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N x_i \quad (3)$$

N adalah jumlah sampel dari penarikan state dari sistem. Sampel variannya bernilai sebagai berikut:

$$V_{(x)} = \frac{1}{N-1} \sum_{i=1}^N (x_i - \bar{O})^2 \quad (4)$$

Saat ukuran sampel cukup besar persamaannya berubah menjadi:

$$V_{(x)} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (x_i - \bar{O})^2 \quad (5)$$

Karena xi variabel 1 dan 0 maka:

$$\sum_{i=1}^N x_i^2 = \sum_{i=1}^N x_i \quad (6)$$

Sehingga persamaannya menjadi:

$$\begin{aligned} V(\bar{O}) &= \frac{1}{N} V_{(x)} \\ &= \frac{1}{N} (\bar{O} - \bar{O}^2) \end{aligned} \quad (7)$$

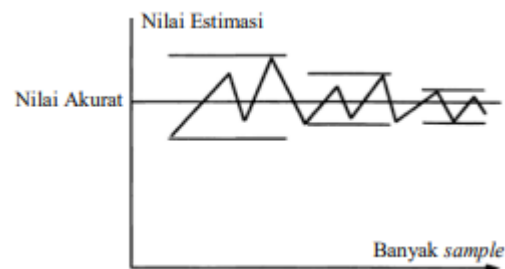
Level akurasi dengan koefisien variasi yang dinyatakan sebagai berikut:

$$\alpha = \frac{\sqrt{V(\bar{O})}}{\bar{O}}$$

Sehingga menjadi:

$$\alpha = \frac{\sqrt{1-\bar{O}}}{N\bar{O}} \quad (8)$$

Hasil Monte Carlo melalui didapat melalui proses konvergensi. Konvergensi berarti hasilnya mengarah ke satu titik. Ini karena proses pembuatan variabel acak sebelumnya. Proses konvergensi ditunjukkan pada Gambar 2.



Gambar 2. Proses konvergensi

Terlihat dalam gambar bahwa semakin banyak jumlah sampel maka nilai akan mendekati nilai yang sebenarnya, sehingga dapat disimpulkan bahwa rentang *error* dari *value* yang dicari berbanding terbalik dengan jumlah sampel. Semakin sedikit jumlah sampelnya maka semakin besar nilai *error*nya. Sehingga pada penelitian ini dilakukan perhitungan dengan menggunakan beberapa jumlah sampel, untuk melihat perbedaannya.

C. LOLP dengan metode Monte Carlo

Perhitungan nilai reliabilitas LOLP dengan metode Monte Carlo merupakan pemahaman paling penting dari variabel acak, dimulai dengan pembangkitan dan transformasi. Contohnya adalah sistem yang terdiri dari generator dan beban untuk mendapatkan nilai LOLP dengan terlebih dahulu menetapkan aturan untuk setiap generator dan unit beban. Aturan tersebut merupakan indikasi apakah sistem dapat memasok beban atau tidak. Nilai definisi aturan untuk masing-masing unit pembangkit (generator) ditentukan berdasarkan nilai riil lapangan. Informasi yang relevan mengacu pada keadaan dimana generator *on* dan *off*. Setelah menentukan *rule* yang akan digunakan untuk menghasilkan nilai acak, digunakan program

komputer untuk mendapatkan nilai keandalan dengan metode Monte Carlo, yaitu membangkitkan nilai acak pada awalnya.

III. HASIL DAN PEMBAHASAN

Perhitungan nilai FOR serta kurva lama beban dihitung untuk menentukan nilai LOLP

A. Data nilai FOR

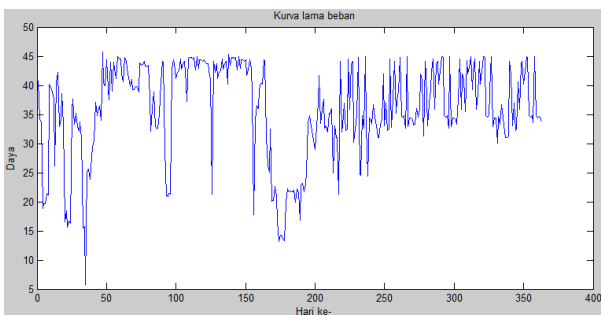
Data beban pembangkit diambil dari data beban harian PT PJB UBJOM PLTU Anggrek 2x 25 MW [5]. Dua buah pembangkit memiliki nilai FOR yang berbeda, yang menunjukkan ketidakterersediaan unit pembangkit yang berbeda pula. Nilai FOR didapatkan dengan mengambil data lama gangguan di setiap unit pembangkit. Berdasarkan data gangguan pada pembangkit PLTU Anggrek, didapatkan nilai *Force outage Rate* (FOR) seperti pada Tabel 1. Sedangkan data beban yang digunakan sesuai dgn penelitian sebelumnya [5].

Tabel 1. Nilai FOR unit pembangkit

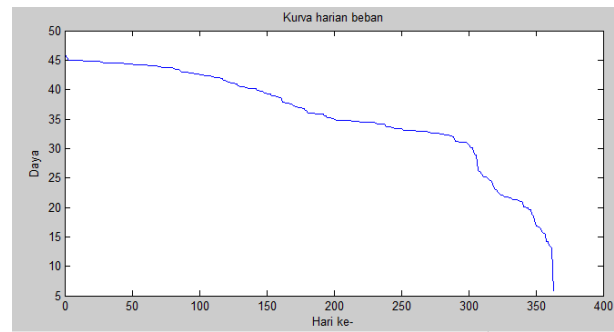
Unit	FOR
Unit #1	0,05
Unit #2	0,08

B. Kurva lama beban

Untuk mendapat nilai LOLP dibutuhkan nilai beban puncak yang didapatkan dari data beban selama 1 tahun. Nilai ini digunakan untuk membuat kurva lama beban sesuai Gambar 4. Gambar 3 menunjukkan kurva beban harian mulai dari hari pertama hingga hari terakhir di tahun tersebut.



Gambar 3. Kurva beban harian

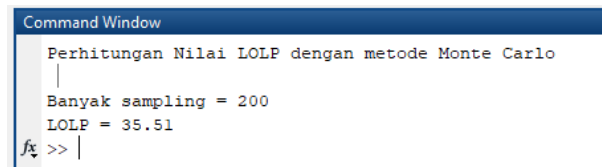


Gambar 4. Kurva lama beban

Setelah mengetahui kurva lama beban dan nilai probabilitas kumulatif maka dapat dilakukan perhitungan untuk mendapat nilai LOLP

C. Simulasi Monte Carlo

Angka acak dihasilkan berdasarkan jumlah sampel untuk setiap jumlah iterasi. Setelah nilai dihasilkan dan dibandingkan dengan aturan cadangan energi generator. Semuanya berulang sesuai dengan jumlah generator. Jika kapasitas daya lebih kecil dari beban, maka diperoleh nilai LOLP dengan satuan jam/hari, lalu diubah menjadi nilai LOLP dalam besaran hari/tahun dengan mengalikan jumlah hari dalam setahun (365hari) dibagi dengan jumlah jam dalam sehari

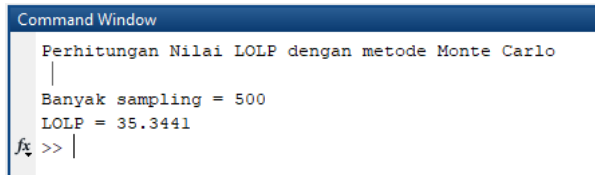


Gambar 5. Simulasi Monte Carlo 200 sampel

Tabel 2. Nilai LOLP dengan 200 sampel

Sampel acak	LOLP
5	36,611
10	36,2112
25	36,4412
50	36,0165
75	35,8855
100	35,558
150	35,5515
200	35,5151

Bila digunakan penarikan acak lain berjumlah 500 maka nilai LOLP didapatkan hasil 35,441 hari/tahun.



```
Command Window
Perhitungan Nilai LOLP dengan metode Monte Carlo
|
Banyak sampling = 500
LOLP = 35.3441
fx >> |
```

Gambar 6. Simulasi Monte Carlo 500 sampel

Tabel 3. Nilai LOLP dengan 500 sampel

Sampel acak	LOLP
5	36,5221
25	36,2112
100	36,5132
150	35,8065
200	35,7855
250	35,4358
300	35,5515
400	35,5151
500	35,3441

Setelah dua kali dua kali menjalankan program dengan nilai acak yang berbeda yaitu 200 dan 500, maka indeks keandalan (LOLP) diperoleh dengan jumlah sampel 200 nilai LOLP adalah 35,551 hari/tahun dan dengan 500 sampel nilai LOLP adalah 35,5441 hari/tahun. Semakin banyak sampel acak yang dijalankan maka semakin valid nilai LOLP menurut sistem Monte Carlo. Oleh karena itu, nilai LOLP dari pembangkit tersebut adalah 35,55 hari/tahun. Dimana standar PLN nilai LOLP adalah 1 hari/tahun [1]. Sehingga dapat dikatakan nilai keandalan pembangkit tersebut dikatakan kurang handal.

D. Perhitungan secara manual.

Kehilangan beban hanya terjadi bila kapasitas beban melebihi kapasitas produksi. Kurva beban puncak harian dapat digunakan dengan daftar kemungkinan *outage*, untuk memperkirakan jumlah hari beban puncak harian akan melebihi kapasitas yang mampu dilayani. Indeks ini didefinisikan sebagai *Loss of Load Expectation* (LOLE).

$$Kombinasi = 2^n = 2^2 = 4 \text{ kombinasi}$$

Perhitungan secara manual dengan menggunakan probabilitas individu ditunjukkan pada Tabel 4 dan nilai hasil perhitungan nilai LOLP ditunjukkan pada Tabel 5.

Terdapat selisih nilai LOLP dengan perhitungan secara manual dan perhitungan dengan metode Monte Carlo sebesar 2,29 hari/tahun. Hal ini disebabkan karena metode Monte Carlo selalu membangkitkan nilai acak yang berbeda setiap *running*.

Tabel 4. Perhitungan Probabilitas Individu

Kombinasi Pembangkit	Daya outage (MW)	Daya Operasi (MW)	Pind
1 1	0	50	0,874
0 1	25	25	0,046
1 0	25	25	0,076
0 0	50	0	0,004

Tabel 5. Perhitungan Nilai LOLP

Daya (MW)	P Kum	t (hari)	LOLP
50	1	1	1
25	0,122	290	35,38
0	0,118	365	1,46
Jumlah			37,84

IV. KESIMPULAN DAN SARAN

Perhitungan nilai keandalan pembangkit *Loss of Load Probability* (LOLP) dengan menggunakan metode monte carlo pada sistem pembangkit PLTU Anggrek Gorontalo sebesar 35,55 hari per tahun. Hal ini belum dapat memenuhi standar PLN hal ini disebabkan salah satu pembangkit sedang melakukan perawatan, Unit #2 bulan 18-30 Juni 2021 mengalami PO (*Planned Outage*) yaitu keluarnya/ gagalnya tegangan akibat adanya pekerjaan pemeliharaan berkala pembangkit seperti *overhaul*, inspeksi atau pekerjaan lainnya yang sudah direncanakan sebelumnya dalam rencana tahunan pemeliharaan pembangkit. Di bulan Juli unit #2 juga mengalami PO disebabkan oleh *first years inspection*. Unit #1 pada 5-7 Juni 2021 mengalami MO (*Maintance Outage*) disebabkan pengujian *stability* pada CT Neutral GT unit 1. Sehingga nilai FOR kedua unit sangat tinggi.

Hasil perhitungan manual keandalan pembangkit didapatkan hasil 37,84 hari/tahun. Yang mana terdapat sedikit perbedaan dengan metode monte carlo yaitu 2,29 hari/tahun.

Saran untuk penelitian selanjutnya yaitu melakukan skenario untuk meningkatkan keandalan sistem dan analisis *load forecasting* untuk satu tahun ke depan dengan metode yang terbaru.

UCAPAN TERIMA KASIH

Terima kasih kepada Universitas PGRI Madiun yang telah memfasilitasi penulis dalam melakukan penelitian ini sehingga dapat dilaksanakan dengan lancar hingga selesai.

REFERENSI

- [1] R. A. Putra, I. T. Yuniahastuti And R. D. Laksono, "Skenario Perbaikan Nilai Keandalan Loss Of Load Probability Pada PLTH Pantai Baru Pandansimo," *Jurnal ELECTRA : Electrical Engineering Articles*, Vol. 2, No. 1, Pp. 16-22, 2021.
- [2] R. Alfian, "Analisa Keandalan Sistem Transmisi 150kv Wilayah Bali Dengan Metode Monte Carlo," Institut Teknologi Sepuluh Nopember, Surabaya, 2017.
- [3] I. Pamungkas, H. T. Irawan, Arhami And M. Dirhamsyah, "Simulasi Monte Carlo Untuk Menentukan Keandalan Pada Bagian Boiler Di Pembangkit Listrik Berbasis Batubara," *Jurnal Optimalisasi*, Vol. 4 (2), Pp. 83-96, 2018.
- [4] I. T. Y. A. P. P. P. Ridam Dwi Laksono, "Skenario Peningkatan Keandalan Sistem Pembangkit Tenaga Listrik Di Wilayah Bali Berdasarkan LOLP," *ELECTRA : Electrical Engineering Articles*, Vol. 2, No. 1, Pp. 39-45, 2021.
- [5] I. T. Yuniahastuti And T. Ardiansyah, "Calculation Of Generator Reability Index With Load Forecasting At Pltu (Electric Steam Power Plant) Anggrek In Gorontalo," *Journal Of Research In Engineering And Applied Science*, Vol. 7, No. 4, Pp. 430-435, 2023.
- [6] K. Khan, *Evaluation Of Loss Of Load Probability And Expected Energy Generation In Multi-Area Interconnected System With Wind Generating Units*, New York: State University Of New York, 2013.
- [7] D. Marsudi, *Operasi Sistem Tenaga Listrik*, Yogyakarta: Graha Ilmu, 2006.
- [8] R. R. Dharmawan And U. T. Kartini, "Analisis Indeks Keandalan PLTGU Blok 1 PT PJB UP Gresik Menggunakan Perhitungan Teorema Bayes Dan Decomposisi LU," *Jurnal Teknik Elektro*, Vol. 09 Nomer 03, Pp. 658-665, 2020.