



ANALISIS INDEKS KEANDALAN PLTU PT. CAHAYA FAJAR KALTIM MENGGUNAKAN PERHITUNGAN TEOREMA BAYES

Gabriel Sumampouw¹, Rahmat Hasrul², Agung Tandiminanga³, Rifqi Ali Wafa⁴, Wisnu Candra Margono⁵, Andika⁶, Muslimin⁷, dan Nur Rani Alham⁸

^{1,2,3,4,5,6,7,8} Universitas Mulawarman, Sempaja Sel., Kec. Samarinda Utara, Kota Samarinda, Kalimantan Timur 75242, Indonesia

<p>INFORMASI ARTIKEL</p>	<p>ABSTRAK</p>
<p>Received: January 03, 2023 Revised: March 13, 2023 Available online: April 12, 2023</p>	<p>Pembangkit listrik dalam skala besar maupun kecil pastinya terjadi gangguan baik itu gangguan dari luar maupun dari dalam sistem, dalam pembangkit listrik tingkat keandalannya wajib diperhatikan dalam kebutuhan beban konsumen. Untuk mengetahui suatu pembangkit andal atau tidaknya diperlukan analisis dan perhitungan untuk mengetahui indeks keandalan dari pembangkit tersebut. Untuk mengetahui keandalan suatu pembangkit dapat digunakan Loss of Load Probability (LOLP) dan Loss of Energy Expectation (LOEE), LOLP dan LOEE merupakan indeks keandalan pembangkit untuk memenuhi permintaan kebutuhan konsumen. Dalam penelitian pemodelan matematisnya digunakan Teorema Bayes untuk mencari probabilitas pembangkit. Dalam penelitian ini bertujuan untuk mengetahui nilai atau tingkat keandalan dari pembangkit pada PLTU Cahaya Fajar Kaltim yang memiliki 3 Unit pembangkit dengan daya terpasang untuk Unit 1 dan 2 sebesar 25 MW dan Unit 3 sebesar 60 MW. Dari gangguan – gangguan dalam selang waktu satu tahun dan durasi dari gangguan pada pembangkit dalam dihitung Force Outage Rated (FOR) dari tiap – tiap pembangkit dari perhitungan nilai FOR nantinya dipakai dalam mencari nilai dari probabilitas dari tiap kombinasi unit pembangkit. Dengan nilai probabilitas yang didapatkan nantinya akan digunakan untuk menghitung nilai LOLP dan LOEE. Dari perhitungan didapatkan nilai LOLP sebesar 1,59558848 hari/tahun dan LOEE sebesar 32295,75 MW pada tahun 2019. Nilai LOLP tersebut belum memenuhi standar PLN berdasarkan KEPMEN ESDM No. 188 RUPTL PLN 2021-2030 yaitu sebesar 1 hari/tahun.</p> <p>Kata kunci— Force Outage Rated; Keandalan Sistem; LOEE; LOLP</p>
<p>CORRESPONDENCE</p>	<p>ABSTRACT</p>
<p>E-mail: ¹rhasrul12@gmail.com</p>	<p>Power plants on a large and small scale certainly occur disturbances, both from outside and from within the system, in power plants the level of reliability is not considered in the needs of consumer loads. To find out whether a plant is reliable or not, analysis and calculations are needed to find out the reliability index of the plant. To determine the reliability of a plant, Loss of Load Probability (LOLP) and Loss of Energy Expectation (LOEE) can be used, LOLP and LOEE are plant reliability indices to meet the demand for consumer needs. In his mathematical modeling research used Bayes' theorem to find the probability of the generator. In this study, it aims to determine the value or level of reliability of the plant at the Cahaya Fajar Kaltim PLTU which has 3 generating units with installed power for Units 1 and 2 of 25 MW and Unit 3 of 60 MW. From disturbances – disturbances within an interval of one year and the duration of disturbances in plants in calculating the Force Outage Rated (FOR) of each plant from the calculation of the FOR value will be used in finding the value of the probability of each combination of generating units. With the probability value obtained, it will later be used to calculate the LOLP and LOEE values. From the calculation, the LOLP value was obtained of 1.59558848 days / year and LOEE of 32295.75 MW in 2019. The LOLP value has not met PLN standards based on the Ministry of Energy and Mineral Resources No. 188 RUPTL PLN 2021-2030, which is 1 day / year.</p> <p>Keywords— Force Outage Rated; System Reliability; LOEE; LOLP</p>

I. PENDAHULUAN

Kebutuhan akan sumber energi listrik semakin tahun semakin meningkat dan akan terus meningkat, penggunaan

energi listrik yang terus meningkat ini disebabkan oleh pertumbuhan penduduk yang terus bertambah tiap tahunnya dan akan terus bertambah maka dari itu kebutuhan akan sumber energi listrik akan terus bertambah pula. Dengan

meningkatnya kebutuhan akan energi listrik banyak teknologi – teknologi yang terus berkembang, iberkembangnya iteknologi berpengaruh iterhadap ikebutuhan itenaga ilistrik iyang isemakin meningkat, ibaik idalam ibidang iindustri imaupun iuntuk ilistrik rumah itangga, imeningkatnya ikebutuhan ienergi listrik juga harus diimbangi dengan keandalan suatu sistem tenaga listrik, yaitu ketersediaan daya untuk konsumen[1].

II. FORMAT HALAMAN

Suatu pembangkit yang baik dapat melayani konsumen dengan tidak adanya gangguan atau kurangnya gangguan yang terjadi pada pembangkit tersebut berdasarkan standar yang telah ditetapkan. Faktor yang berpengaruh dalam keandalan sistem adalah keandalan dari unit pembangkit itu sendiri sering tidaknya mengalami gangguan. Kegagalan sistem unit pembangkit adalah Forced Outage Rate (FOR)[2]. Dalam suatu pembangkit indikator untuk menentukan sering atau tidaknya suatu pembangkit mengalami gangguan bisa dinyatakan dengan FOR[3]. Untuk mendapatkan nilai FOR pada pembangkit dibutuhkan data gangguan pada pembangkit selain itu dibutuhkan juga data jam operasi dari pembangkit, untuk mencari nilai FOR dapat digunakan persamaan di bawah :

$$FOR = \frac{DG}{JO+DG} \tag{1}$$

Keterangan:
 DG = Durasi Gangguan (Menit/60)
 JO = Jam Operasi (Jam)

Indeks keandalan pada suatu sistem kelistrikan menunjukkan kualitas maupun kemampuan pada sistem kelistrikan. Indeks keandalan yang dipakai oleh PT. PLN (Persero) untuk merancang suatu sistem kelistrikan yaitu Lost Of Load Probability (LOLP). LOLP adalah kemungkinan sistem tidak dapat memasok energi listrik ke pelanggan. LOLP kurang dari 0,274% artinya sistem hanya diperbolehkan tidak dapat memasok energi listrik ke pelanggan maksimal 1 hari/tahun[4]. Indeks keandalan LOLP dinyatakan dalam hari/tahun. Oleh karena itu, angka ini menunjukkan jumlah hari yang mungkin terjadi pertahunnya, yang mana dapat diartikan bahwa kapasitas gangguan sistem akan sama ataupun lebih besar dari kapasitas cadangan sistem tersebut[5].

$$LOLP = \sum_{t=1}^{t=365} P \times t \tag{2}$$

Keterangan :
 P = Probabilitas Kumulatif
 t = Waktu

Dari persamaan di atas dapat digunakan untuk menghitung indeks keandalan suatu sistem kelistrikan, Selain LOLP ada indeks keandalan LOEE (Loss of Energy Expectation). Berbeda dengan LOLP, LOEE digunakan dalam menghitung ketersediaan energi pada sistem pembangkit dan diharapkan tidak dipasok oleh sistem karena kapasitas tersedia kurang dari permintaan beban.

Pada indeks LOEE dinyatakan dalam durasi waktu per tahun untuk permintaan beban tidak dapat dipenuhi untuk kurun waktu pertahun[6]. Dalam perhitungan LOEE dapat digunakan persamaan di bawah ini.

$$LOEE = \sum_{n=1}^k Ek \times Pk \tag{3}$$

Keterangan :
 Ek = Energi yang tidak terlayani
 Pk = Probabilitas Kumulatif

Teorema Bayes dapat digunakan untuk menghitung probabilitas terjadinya suatu peristiwa berdasarkan pengaruh yang didapat dari hasil observasi yang dilakukan[7]. Syarat-syarat Teorema Bayes bisa digunakan untuk menentukan pengambilan keputusan yaitu :

1. Berada pada kondisi ketidakpastian (adanya alternatif tindakan).
2. Peluang prior diketahui dan peluang posterior dapat ditentukan.
3. Peluangnya mempunyai nilai antara nol dan satu.

Berikut persamaan yang digunakan dalam perhitungan Teorema Bayes:

$$P (Bi|A) = \frac{P (Bi \cap A)}{P(A)} \tag{4}$$

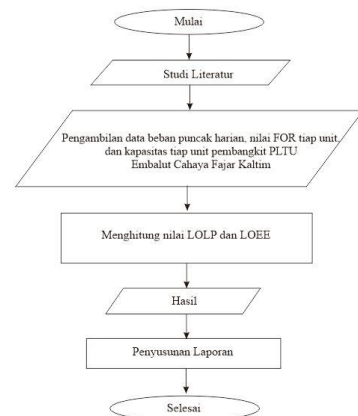
Keterangan :
 P(B) = Probabilitas B
 P(A) = Probabilitas A

III. METODOLOGI PENELITIAN

Dalam penelitian ini digunakan pendekatan kuantitatif dikarenakan pada saat pengumpulan maupun pengolahan data penelitian ini hasilnya berupa angka. Pada penelitian kuantitatif, variabel bisa ditetapkan dan hubungan antar variabel bisa dilakukan pengukuran. Pada penelitian kuantitatif digunakan rangkuman hasil dari penelitian untuk dipakai memprediksi kondisi yang sama pada populasi yang berbeda – beda[8].

A. Rancangan Penelitian

Dalam penelitian ini melalui beberapa tahapan, dapat dilihat dalam *flowchart* sebagai berikut.



Gambar 1. *Flowchart* tahapan penelitian

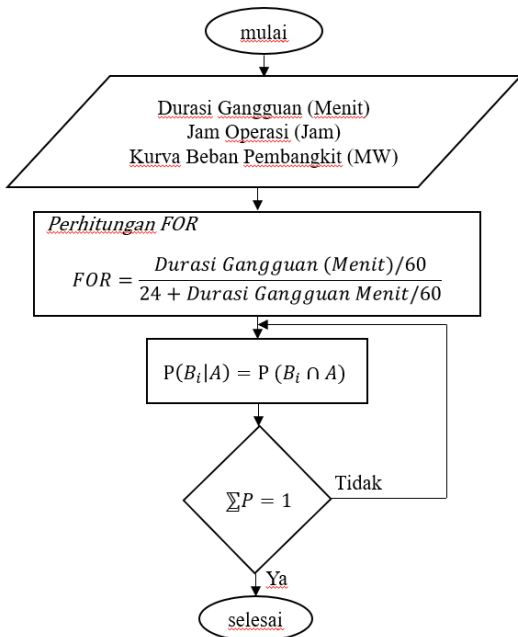
Untuk penjelasan alur *flowchart* rancangan penelitian diantaranya sebagai berikut: pertama – tama dilakukan studi literatur dengan mempelajari sumber – sumber referensi yang berhubungan penelitian yang dilakukan seperti LOLP, LOEE, *Teorema Bayes* dan lain sebagainya, tahap selanjutnya yaitu mengumpulkan data yang diperlukan pada PLTU Cahaya Fajar Kaltim, setelah data – data yang diperlukan telah terkumpul selanjutnya dilakukan analisis dan pemodelan matematis mengenakan *Teorema Bayes* untuk menghitung nilai probabilitas tiap pembangkit, dari hasil pemodelan nantinya akan dilakukan perhitungan LOLP dan LOEE dalam satu tahun dan untuk tahap terakhir yaitu penyusunan laporan untuk menuliskan hasil yang telah didapatkan dari hasil perhitungan yang dilakukan.

B. Subjek Penelitian

Adapun subjek dari penelitian ini adalah PLTU PT. Cahaya Fajar Kaltim dengan data pembangkit yang digunakan diantaranya data gangguan diantaranya durasi gangguan, jam operasi pada pembangkit dan kurva beban harian dalam kurun waktu satu tahun.

C. Teorema Bayes

Dalam mencari probabilitas pada pembangkit digunakan *Teorema Bayes*, pada perhitungan dengan *Teorema Bayes* dalam dilihat pada *flowchart Teorama Bayes* pada gambar di bawah.



Gambar 2. Flowchart Teorema Bayes

IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

Unit pembangkit pada PLTU PT. Cahaya Fajar Kaltim dibagi menjadi tiga unit dengan total kapasitas terpasang sebesar 110 MW yang terdiri dari 2 x 25 MW dan 1 x 60 MW.

A. FOR (Forced Outage Rate)

FOR adalah indeks yang menunjukkan ketidakterersediaan pada pembangkit yang mengambil data lama gangguan yang

terjadi. Nilai FOR pada masing-masing pembangkit dapat dilihat pada Tabel I.

TABEL I. NILAI FOR TIAP UNIT PEMBANGKIT

No	Unit	FOR (%)
1	CFK 1	0.62
2	CFK 2	0.89
3	CFK 3	0.29

B. Probabilitas dengan Teorema Bayes

Pada perhitungan probabilitas digunakan Teorema Bayes dibutuhkan data FOR dan probabilitas untuk kapasitas daya pembangkit yang beroperasi, dapat dilihat pada Tabel II.

TABEL II. PROBABILITAS TIAP KOMBINASI

Unit			Kapasitas Outage (MW)	Kapasitas Tersedia (MW)	Probabilitas
Unit 1	Unit 2	Unit 3			
1	1	1	0	110	0,98209881
0	1	1	25	85	0,006127
1	0	1	25	85	0,00881917
1	1	0	60	50	0,00285637
0	0	1	50	60	0,00005502
0	1	0	85	25	0,00001782
1	0	0	85	25	0,00002565
0	0	0	110	0	0,00000016
ΣP					1

Nilai probabilitas dari masing-masing kapasitas didapat dengan menjumlahkan kapasitas dalam dan di luar perbaikan dengan nilai sama dapat dilihat pada Tabel III.

TABEL III. PROBABILITAS TIAP KOMBINASI

No	Kapasitas Outage (MW)	Kapasitas Tersedia (MW)	Probabilitas Individu
1	0	110	0,98209881
2	25	85	0,01494617
3	60	50	0,00285637
4	50	60	0,00005502
5	85	25	0,00004347
6	110	0	0,00000016

C. Probabilitas Kumulatif

Probabilitas kumulatif merupakan suatu kemungkinan terjadinya FOR dengan nilai tertentu atau lebih. Nilai probabilitas kumulatif dapat dilihat pada Tabel IV.

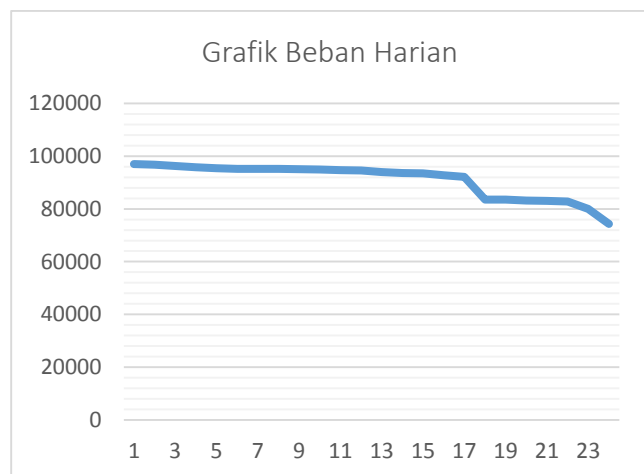
TABEL IV. PROBABILITAS KUMULATIF

No	Kapasitas Outage (MW)	Kapasitas Tersedia (MW)	Probabilitas Individu	Probabilitas Kumulatif
1	0	110	0,98209881	1
2	25	85	0,01494617	0,01790119
3	60	50	0,00285637	0,00295502
4	50	60	0,00005502	0,00009865
5	85	25	0,00004347	0,00004363
6	110	0	0,00000016	0,00000016

D. Kurva Beban

Kurva beban adalah indeks yang dibutuhkan untuk melakukan perhitungan LOLP dan LOEE. Kurva beban

menunjukkan rata-rata penggunaan beban dalam jangka waktu satu hari pada Gambar 3.



Gambar 2. Grafik Beban Harian

E. Lost Of Load Probability

Nilai LOLP yang didapat dari data di atas dapat dilihat pada Tabel V.

TABEL V. HASIL LOLP

No	Kapasitas Outage (MW)	Kapasitas Tersedia (MW)	Probabilitas Kumulatif	T (%)	LOLP
1	0	110	1	0	0
2	25	85	0,01790119	71,83	1,28584248
3	60	50	0,00295502	100	0,295502
4	50	60	0,00009865	100	0,009865
5	85	25	0,00004363	100	0,004363
6	110	0	0,00000016	100	0,000016
Total					1,59558848

Berdasarkan hasil pada tabel V didapatkan total LOLP sebesar 1,5956 Hari/Tahun. Nilai LOLP yang didapatkan belum sesuai standar pada ketentuan KEPMEN ESDM No. 188 RUPTL PLN 2021-2030.

F. Loss Of Energy Expectation

Nilai LOEE yang didapat dari data di atas dapat dilihat pada Tabel VI.

TABEL VI. HASIL LOEE

No	Kapasitas Outage (MW)	Kapasitas Tersedia (MW)	Probabilitas Kumulatif	LOEE
1	0	110	1	0
2	25	85	0,01790119	1795,75
3	60	50	0,00295502	6000
4	50	60	0,00009865	5000
5	85	25	0,00004363	8500
6	110	0	0,00000016	11000
Total				32295,75

Dilihat dari hasil pada tabel VI didapatkan total LOEE atau total beban yang tidak terlayani sebesar 32295,75 MW.

V. KESIMPULAN

Probabilitas kumulatif diperoleh dari suatu kemungkinan terjadinya FOR dengan nilai energi tertentu atau lebih. Dari nilai pada probabilitas kumulatif, dibutuhkan waktu yang diperoleh dari perpotongan kapasitas pembangkit sehingga didapatkan nilai LOLP dan LOEE. Dari perhitungan dan analisis, maka diperoleh nilai LOLP sebesar 1,59558848 hari/tahun dan LOEE sebesar 32295,75 MW pada tahun 2019. Nilai LOLP yang didapatkan belum memenuhi standar PLN berdasarkan KEPMEN ESDM No. 188 RUPTL PLN 2021-2030, yaitu sebesar 1 hari/tahun. Untuk mendapatkan waktu lama beban, diperlukan data berupa data beban harian yang di ubah menjadi *Load Duration Curve*, lalu waktu didapat dari hasil perpotongan daya yang dihasilkan dengan bentuk kurva tersebut.

REFERENSI

- [1] S. Syahrial, K. Sawitri, and P. Gemahapsari, "Studi Keandalan Ketersediaan Daya Pembangkit Listrik pada Jaringan Daerah 'X,'" ELKOMIKA J. Tek. Energi Elektr. Tek. Telekomun. Tek. Elektron., vol. 5, no. 1, p. 93, 2018, doi: 10.26760/elkomika.v5i1.93.
- [2] G. A. P. Yoga, H. Gusmedi, O. Zebua, and L. Hakim, "Analisa Keandalan Sistem Tenaga Listrik Di Wilayah Lampung Berdasarkan Ketersediaan Daya Pada Tahun 2016," Konf. Ilm. Nas., pp. 1–7, 2017.
- [3] R. D. Laksono, I. T. Yuniahastuti, and A. P. P. Prakoso, "Skenario Peningkatan Keandalan Sistem Pembangkit Tenaga Listrik Di Wilayah Bali Berdasarkan LOLP," ELECTRA Electr. Eng. Artic., vol. 2, no. 1, p. 39, 2021, doi: 10.25273/electra.v2i1.10525.
- [4] R. F. Setya Budi, M. D. Birmano, and I. B. -, "Pemodelan Perhitungan Indeks Lost of Load Probability untuk N Unit Pembangkit pada Sistem Kelistrikan Opsi Nuklir," J. Pengemb. Energi Nukl., vol. 19, no. 2, p. 61, 2018, doi: 10.17146/jpen.2017.19.2.4035.
- [5] S. T. Elektro, F. Teknik, U. N. Surabaya, S. T. Elektro, F. Teknik, and U. N. Surabaya, "PERHITUNGAN NILAI LOSS OF LOAD PROBABILITY (LOLP) PADA PLTG PT PERTAMINA EP ASSET IV FIELD SUKOWATI MENGGUNAKAN PERHITUNGAN DISCRETE DISTRIBUTION DAN CHOLESKY DECOMPOSITION Kevin Pranata Putra Unit Three Kartini , Widi Aribowo , Mahendra Widartono," 2020.
- [6] S. Elektro, F. Teknik, U. N. Surabaya, S. T. Elektro, F. Teknik, and U. N. Surabaya, "MENGGUNAKAN PERHITUNGAN TEOREMA BAYES DAN DECOMPOSISI LU Rizqi Rizal Dharmawan Unit Three Kartini," pp. 659–666, 2018.
- [7] M. Sholaudin, "ANALISIS INDEKS KEANDALAN PLTA SELOREJO MALANG MENGGUNAKAN PERHITUNGAN TEOREMA BAYES DAN DECOMPOSISI LU," J. Chem. Inf. Model., 2022.
- [8] P. M. Abdullah, Living in the world that is fit for habitation : CCI's ecumenical and religious relationships. 2015.