

Studi Analisa Keandalan Pada Pembangkit Listrik Tenaga Uap (PLTU) Embalut Kalimantan Timur Menggunakan Perhitungan LOLP (Loss of Load Probabilty) dan LOLE (Loss of Load Expectation)

Idham Apriliyanto¹, Elkim Dwijayanto Malia², Alfian Rachmadana Uspa³, Andhika Dwi Bhaswara⁴, Fatur Rahman⁵
^{1,2,3,4,5} Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Mulawarman
 iidham642@gmail.com

Abstrak- Keandalan produksi sistem kelistrikan merupakan aspek yang sangat penting dalam pengoperasian sistem kelistrikan, karena selama pengoperasian generator berjangka waktu tidak selalu dapat bekerja sesuai dengan jadwal yang diberikan, banyak kendala yang dihadapi pabrik. dapat menyebabkan. baik karena gangguan tidak bekerja dengan baik di luar atau di dalam sistem genset. Nilai probabilitas dari sistem kelistrikan memberi kita seberapa baik operasi berkelanjutan dari sistem pembangkit. Oleh karena itu nilai keandalan sistem listrik harus dijaga. Pada artikel ini perhitungan untuk menentukan tingkat keandalan sistem pembangkit listrik PLTU Embalut menggunakan perhitungan indeks keandalan *lolp* dan *lole*. Analisis dibuat berdasarkan data tahun 2019 dengan menggunakan reliabilitas LOLE (Loss of Load Expectation). Dalam mencari indeks keandalan *lolp* dan *lole* suatu sistem pembangkitan, mengacu pada standar PT PLN (Persero) pada periode RUPTL PLN 2018-2027 adalah 1 hari /tahun.

Kata kunci: Keandalan, LOLP, LOLE.

I. PENDAHULUAN

Pada saat mensuplai suatu beban, generator yang direncanakan tidak selalu beroperasi sesuai dengan jadwal yang telah ditentukan. Banyak gangguan yang dapat membuat genset tidak dapat beroperasi dengan baik, baik dari gangguan maupun dari sistem pembangkitan itu sendiri. Terdapat unit produksi yang menggunakan daya pada jaringannya, sering disebut kegagalan. Kegagalan adalah suatu kondisi dimana suatu komponen tidak dapat berfungsi sesuai dengan fungsinya. Perubahan sifat beban sistem mengacu pada karakteristik beban listrik yang cenderung meningkat seiring dengan perkembangan teknologi, sehingga kehandalan sistem pembangkit listrik semakin dibutuhkan untuk menjaga keandalan operasionalnya.

Penggunaan metode perhitungan probabilitas saat mengevaluasi keandalan sistem tenaga adalah konsep probabilitas kehilangan beban. LOLP didefinisikan sebagai probabilitas bahwa kapasitas daya akan melebihi cadangan daya sistem jika terjadi kegagalan daya. LOLP dievaluasi untuk beberapa beban puncak sebagai representasi keandalan sistem.

Dalam pengoperasian sistem tenaga listrik sering terjadi gangguan yang dapat mengakibatkan terganggunya penyaluran tenaga listrik ke konsumen. Gangguan adalah

hambatan dari suatu sistem yang sedang beroperasi atau suatu kondisi suatu sistem distribusi tenaga listrik yang menyimpang dari kondisi normal.

Gangguan pada peralatan listrik digambarkan sebagai terjadinya kegagalan fungsi pada jaringan listrik yang menyebabkan aliran arus listrik keluar dari jalur yang seharusnya. Untuk melayani beban, pembangkit yang sudah dijadwalkan tidak selamanya dapat beroperasi sesuai dengan penjadwalan yang telah ditetapkan, banyak sekali kendala yang dapat menyebabkan pembangkit tersebut gagal beroperasi sebagaimana mestinya, baik itu disebabkan gangguan dari luar maupun dari dalam sistem pembangkit itu sendiri. Unit pembangkit yang keluar dari sistem operasi tenaga listrik biasanya dipakai istilah outage.

Outage adalah keadaan dimana suatu komponen tidak dapat bekerja sesuai fungsinya. Sifat beban sistem yang berubah-ubah mengacu pada karakteristik beban listrik yang cenderung meningkat seiring dengan perkembangan teknologi, sehingga keandalan sistem pembangkit semakin dibutuhkan untuk menjaga keandalan operasinya.

Penerapan metode perhitungan probabilitistik untuk menilai keandalan sistem tenaga pertama kali diperkenalkan pada tahun 1933. Konsep kemungkinan kehilangan beban diperkenalkan pada tahun 1947. LOLP didefinisikan sebagai kemungkinan bahwa kapasitas daya akan melebihi cadangan energi jika terjadi kegagalan daya dalam sistem. LOLP dievaluasi untuk beberapa beban puncak sebagai representasi keandalan sistem.

Sistem kelistrikan terdiri dari tiga bagian utama, yaitu sistem pembangkit listrik, saluran listrik dan jaringan distribusi. Masalah penyediaan energi listrik adalah menyediakannya secara andal dan ekonomis. Menyediakan kapasitas ini akan menghindari tekanan kegagalan daya dan meningkatkan keandalan sistem.

Perkembangan teknologi berdampak pada meningkatnya kebutuhan listrik baik di industri maupun di rumah tangga. Peningkatan kebutuhan listrik juga harus diimbangi dengan keandalan sistem ketenagalistrikan, dalam hal ini ketersediaan tenaga listrik. Daya yang tersedia di jaringan listrik harus cukup untuk memenuhi kebutuhan listrik konsumen.

Berbagai faktor seperti malfungsi dan perawatan rutin membuat unit produksi tidak dapat beroperasi. Jika gangguan ini terjadi pada beberapa unit pembangkit besar secara

bersamaan, beban dapat turun atau pembangkit dapat dimatikan. Jika sering terjadi gangguan, dapat dikatakan bahwa generator tidak dapat diandalkan untuk melayani beban. Kemungkinan sistem tidak dapat melayani beban dinyatakan dengan Indeks Energi Limbah dan LOLP (Loss of Load Probability), biasa dikenal dengan probabilitas kehilangan beban. LOLP menggambarkan tingkat kehilangan beban potensial saat sistem tidak dioperasikan.

Oleh karena itu, diperlukan desain yang baik untuk mencapai keandalan yang tinggi. Berdasarkan latar belakang yang telah dipaparkan, permasalahan penelitian ini adalah bagaimana merancang suatu sistem pembangkitan tenaga listrik untuk mendapatkan skor keandalan yang baik dan bagaimana menentukan skor keandalan sistem pembangkitan untuk model konfigurasi daya yang berbeda. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk menentukan skor keandalan yang unggul dari beberapa model konfigurasi sistem.

II. LANDASAN TEORI

A. Keandalan Sistem Pembangkit

Keandalan adalah kemampuan suatu sistem untuk bekerja sesuai dengan fungsinya di bawah kondisi operasi dan periode waktu tertentu. Keandalan sistem pembangkit listrik memiliki dua aspek: sistem yang masuk akal dan sistem keselamatan. Anda memerlukan sistem yang baik untuk memenuhi persyaratan sistem Anda, dan Anda memerlukan sistem keamanan untuk melindungi sistem Anda jika terjadi kegagalan. Kerusakan sistem generator terjadi ketika generator tidak dapat melakukan tugasnya yang sebenarnya. Pemadaman paksa dan pemadaman terencana adalah kegagalan sistem Pembangkit.

Keandalan Ketersediaan Daya Terdapat beberapa indeks yang menunjukkan keandalan suatu sistem tenaga listrik. Indeks keadalan adalah kemungkinan kehilangan beban (*Loss Of Load Probability*). Kemungkinan Kehilangan beban probabilitas yang menyatakan seberapa besarnya suatu sistem kehilangan karena beban karena kapasitas pembangkit yang tersedia sama atau lebih kecil dari pada beban sistem yang diminta.

B. Definisi Keandalan

Definisi sederhana dari kehandalan adalah probabilitas suatu objek atau perangkat dan koleksi yang menunjukkan statistik dari waktu ke waktu kondisi yang ditentukan selama periode waktu tertentu Waktu secara khusus ditentukan oleh esensi komponen utama keandalan. Periodenya adalah kondisi alat atau barang dalam keadaan wajar selama jam kerjamasa pakai produk.

C. Indeks Keandalan Sistem

Reliabilitas adalah ukuran keandalan yang dinyatakan dalam bentuk probabilitas. Sebagai ukuran untuk membandingkan kinerja sistem distribusi, tiga indikator keandalan pembebanan titik yang paling umum digunakan dalam sistem distribusi radial adalah rata-rata tingkat fraktur f_s (gaya putus/tahun) dan rata-rata waktu breakout. r_s (jam/beban gangguan) dan durasi rata-rata gangguan adalah N_i (jam/tahun).

Pada dasarnya, peralatan pembangkit listrik diperiksa Tahun Kondisi peralatan ditampilkan setiap tahun melalui pengukuran dan berlaku selama satu tahun, meskipun data dikumpulkan lebih awal. Ketersediaan unit produksi juga biasanya dinyatakan dalam jam per tahun. Hal yang sama berlaku untuk keandalan sistem, yang dinyatakan dalam hari per tahun.

D. Forced Outage Rate (FOR)

Beroperasinya sistem produksi tidak lepas dari apa yang disebut kegagalan, yaitu. keadaan di mana unit sistem produksi meninggalkan rencana operasinya secara sengaja atau tidak sengaja. Tingkat kegagalan sistem unit produksi disebut Forced Outage Rate (FOR). Jika keluar terjadi karena keadaan terpaksa yang berhubungan langsung dengan komponen tersebut sehingga dianggap perlu untuk segera melepas (menonaktifkan) komponen tersebut, baik secara otomatis maupun dengan bantuan pengguna. Dengan kata lain, ini disebabkan oleh kerusakan perangkat atau kesalahan manusia. Persamaan dalam mencari FOR

$$FOR = \frac{\text{Jumlah Jam Unit Terganggu}}{\text{Jumlah Jam Unit Terganggu} + \text{Jumlah Jam unit Beroperasi}} \quad (1)$$

E. LOLP (Loss Of Load Probability)

Pengukuran keandalan diberikan pada hari per tahun dan beban sistem sama dengan, lebih besar atau kurang dari kapasitas sistem yang tersedia. Hitung dari data generator yang terdiri dari kapasitas generator dan tingkat kegagalan (FOR) untuk menghitung probabilitas kapasitas kegagalan tunggal dan hanya probabilitas untuk mendapatkan tabel probabilitas kehilangan beban.

$$LOLP = \sum_{L_{oi}} P(L_{oi}) * f_{oi} (IC - L_{oi}) \quad (2)$$

Dimana :

- P = Probabilitas availability dan unavailability pembangkit
- L_{oi} = Kapasitas Pemadaman
- f_{oi} = Fungsi dari kapasitas Pemadaman
- IC = Kapasitas Terpasang

Kurva usang beban akan diurutkan menurut beban tertinggi ke beban terendah selama periode saat pada persen. dn adalah interval saat antara titik-titik potong kurva lama beban kapasitas gangguan.

F. LOLE (Loss Of Load Expection)

LOLE merupakan reliabilitas yang menunjukkan pada kondisi mana beban puncak harian melebihi kapasitas yang tersedia. Definisi lain dari LOLE adalah jumlah unit pada suatu waktu (jam atau hari) per interval waktu (tahun) yang tuntutan bebannya melebihi kapasitasnya. Indeks LOLE itu sendiri memiliki standar yang berbeda untuk situs yang berbeda, tergantung pada sistem kelistrikan yang dipelajari, mengikuti aturan yang ditetapkan oleh asosiasi kelistrikan atau Konsultannya.

$$LOLE = \left(\sum_{L_{oi}} P(L_{oi}) * f_{oi}(IC - L_{oi}) \right) * 365 \quad (3)$$

G. Discrete Distribution

Distribusi diskrit adalah distribusi probabilitas dari setiap nilai variabel acak diskrit yang terjadi. Variabel acak diskrit adalah variabel yang memiliki nilai acak yang diperoleh dari data percobaan. Jumlah fungsi variabel acak diskrit adalah satu.

Nilai input dari distribusi diskrit adalah nilai FOR dari masing-masing generator. Selain itu, keluaran dari perhitungan ini adalah peluang masing-masing generator dan peluang kumulatif.

Distribusi diskrit memiliki dua fungsi, yaitu fungsi densitas probabilitas (PDF) dan fungsi distribusi kumulatif (CDF). PDF menghitung probabilitas total semua peristiwa menggunakan persamaan berikut.

$$\sum_n P(X = X_n) = 1 \tag{4}$$

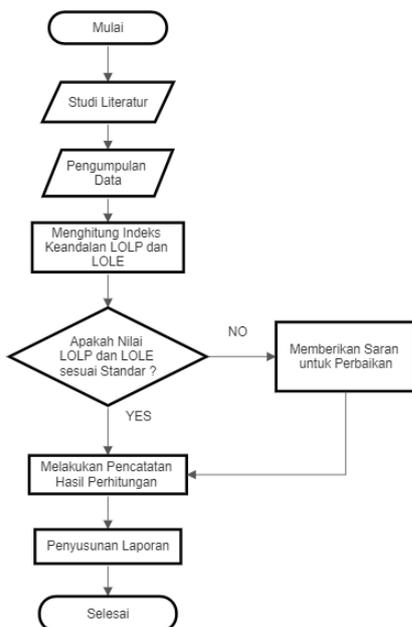
Tujuan dari fungsi CDF adalah untuk menghitung jumlah dari semua nilai fungsi probabilitas yang kurang dari atau sama dengan nilai yang diberikan menggunakan persamaan berikut.

$$p(X \leq x_k) = \sum_{i=1}^k p(x_i) \tag{5}$$

III. METODE PENELITIAN

A. Diagram Alir Menghitung Indeks LOLP

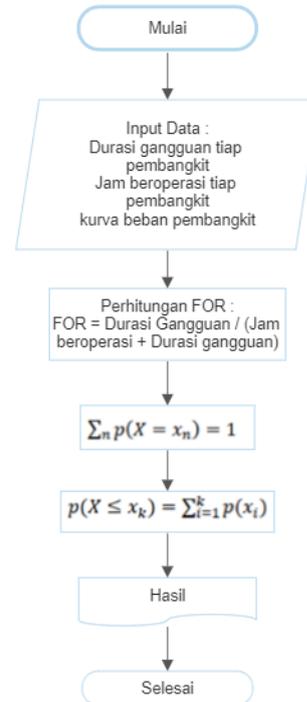
Penelitian ini menggunakan metode berupa menggunakan data sistem dari salah satu sistem pembangkit milik swasta yang ada di provinsi Kalimantan Timur tepatnya berada di Tanjung Batu, Tenggarong Seberang, Kutai Kartanegara. Data yang diperoleh diolah lebih lanjut agar didapat lama dari operasi sistem pembangkit pada perusahaan tersebut. Juga, kurva beban harian dan kurva beban panjang dibangun dari data ini, yang kemudian digunakan untuk menemukan keandalan sistem pembangkit menggunakan algoritma konvolusi rekursif. Berikut tahapan-tahapan dalam melakukan proses penelitian ini dapat dilihat pada Gambar 1.



Gambar 1. Diagram Alir Perbaikan Indeks Keandalan LOLP dan LOLE

B. Metode Discrete Distribution

Pada tahap analisis data, penulis mengolah data yang terkumpul dengan menggunakan perhitungan analitik yaitu distribusi diskrit yang dijelaskan sebagai berikut. Langkah-langkah analisis untuk menghitung distribusi diskrit ditunjukkan pada Gambar 2.



Gambar 2. Diagram Alir Perhitungan Diskrit Distribusi

C. Data Sistem Pembangkit

Pada pembangkit yang diteliti ini terdiri dari ketiga unit pembangkit dengan penggerak utamanya yaitu turbin dengan kapasitas nilai dari ketiga unit pembangkit memiliki nilai yang berbeda. Nilai tersebut dapat dilihat pada Tabel 1 sebagai berikut dan Tabel 2, Tabel 3 dan Tabel 4 terlihat nilai FOR.

**TABEL 1
KAPASITAS UNIT PEMBANGKIT**

Unit	Daya Terpasang
1	25 MW
2	25 MW
3	60 MW
TOTAL	100 MW

**TABEL 2
NILAI FOR UNIT 1**

Unit	Bulan	FOR
1	Januari	0.0096
	Februari	0
	Maret	0
	April	0.0302
	Mei	0.0196
	Juni	0
	Juli	0.0158
	Agustus	0
	September	0
	Oktober	0
	November	0
	Desember	0
Rata-rata		0.006266667

TABEL 3
NILAI FOR UNIT 2

Unit	Bulan	FOR
2	Januari	0.0183
	Februari	0
	Maret	0
	April	0.0718
	Mei	0
	Juni	0
	Juli	0.0171
	Agustus	0
	September	0
	Oktober	0
	November	0
	Desember	0
Rata-rata		0.008933333

TABEL 4
NILAI FOR UNIT 3

Unit	Bulan	FOR
2	Januari	0
	Februari	0
	Maret	0
	April	0.0037
	Mei	0
	Juni	0
	Juli	0
	Agustus	0.0034
	September	0.0277
	Oktober	0
	November	0
	Desember	0
Rata-rata		0.0029

IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Perhitungan Probabilitas Individu Menggunakan Diskrit Distribusi

Probabilitas individu ini adalah gabungan dari probabilitas masing-masing kapasitas pembangkit.

a. Unit 1

Tabel 5 merupakan probabilitas individu dari unit 1.

TABEL 5
PROBABILITAS INDIVIDU UNIT 1

Capacity of Out Service (MW)	Capacity of in Service (MW)	Probability	
0	25	1-FOR1	0.99373
25	0	FOR1	0.00627
Jumlah			1

b. Unit 2

Tabel 6 merupakan probabilitas individu dari unit 2.

TABEL 6
PROBABILITAS INDIVIDU UNIT 2

Capacity of Out Service (MW)	Capacity of in Service (MW)	Probability	
0	25	1-FOR2	0.99107
25	0	FOR2	0.00893
Jumlah			1

c. Unit 3

Tabel 7 merupakan probabilitas individu dari unit 3.

TABEL 7
PROBABILITAS INDIVIDU UNIT 3

Capacity of Out Service (MW)	Capacity of in Service (MW)	Probability	
0	60	1-FOR3	0.9971
60	0	FOR3	0.0029
Jumlah			1

d. Probabilitas Individu terdiri dari 2 unit

Tabel 8 merupakan probabilitas yang terjadi dari bentuk gabungan 2 unit.

TABEL 8
PROBABILITAS INDIVIDU UNIT 1 DAN UNIT 2

UNIT			Capacity of Out Service (MW)	Capacity of in Service (MW)	Probability	
UNIT1	UNIT2					
1	1	0	50	(1-FOR)(1-FOR2)	0.984855991	
1	0	25	25	FOR1(1-FOR2)	0.006214009	
0	1	25	25	FOR2(1-FOR1)	0.008874009	
0	0	50	0	FOR1xFOR2	5.59911E-05	

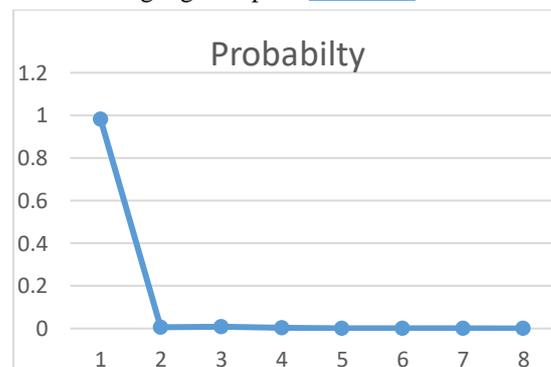
e. Probabilitas Individu terdiri dari 3 Unit.

Setelah merampungkan perhitungan probabilitas individu Langkah selanjutnya merupakan mencari nilai probabilitas buat setiap kombinasi memakai rumus PDF (Probability Density Function). Saat menghitung distribusi diskrit. Perhitungan probabilitas setiap kombinasi didapatkan berdasarkan kombinasi 3-unit membuat 8 kombinasi. Ini beberapa Hitung probabilitas setiap kombinasi menggunakan Perhitungan distribusi diskrit. Dari perhitungan tersebut, maka dihasilkan nilai kemungkinan tiap kombinasi misalnya dalam Tabel 9 menjadi berikut.

TABEL 9
PROBABILITAS INDIVIDU UNIT 1, UNIT 2, DAN UNIT 3

UNIT			Capacity of Out Service (MW)	Capacity of Out Service (MW)	Probability	
UNIT 1	UNIT2	UNIT 3				
1	1	1	0	10	(1FOR1)(1FOR2)(1FOR3)	0.981999909
0	1	1	25	85	FOR1(1FOR2)(1FOR3)	0.006195988
1	0	1	25	85	FOR2(1FOR1)(1FOR3)	0.008848274
1	1	0	60	50	FOR3(1FOR1)(1FOR2)	0.002856082
0	0	1	50	60	FOR1XFOR2(1FOR3)	5.58287E-05
0	1	0	85	25	FOR1XFOR3(1FOR2)	1.80206E-05
1	0	0	85	25	FOR2XFOR3(1FOR1)	2.57346E-05
0	0	0	110	0	FOR1XFOR2XFOR3	1.62374E-07
JUMLAH						1

Dari tabel diatas didapatkan nilai kemungkinan dapat digambarkan sebagai grafik pada Gambar 3.



Gambar 3. Grafik Probabilitas Tiap Kombinasi

B. Perhitungan Kemungkinan Kumulatif Menggunakan Diskrit Distribusi

Setelah Anda menghitung probabilitas masing-masing kombinasi dan kemudian menemukan nilai probabilitas kumulatif menggunakan rumus distribusi kumulatif Fungsi (CDF) dalam kalkulus distribusi diskrit. Berikut adalah perhitungan probabilitas kumulatif menggunakan perhitungan distribusi diskrit.

TABEL 9
PROBABILITAS KUMULATIF

Capacity of Out Service (MW)	Capacity of In Service (MW)	Probabilitas Individu	Probabilitas Kumulatif
0	110	0.981999909	1
25	85	0.015044263	0.018000091
60	50	0.002586082	0.002955829
50	60	5.58287E-05	9.97464E-05
85	25	4.37553E-05	4.39176E-05
110	25	1.62374E-07	1.62374E-07

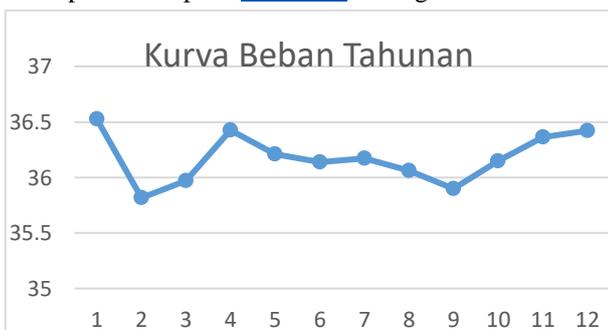
C. Kurva Beban

Beban rata-rata adalah jumlah beban pada saat tertentu dengan menghitung berapa banyak beban yang digunakan pada saat beban terjadi. Tabel 10 adalah hasil dari perhitungan beban rata-rata secara keseluruhan dari 12 bulan selama tahun 2019.

TABEL 10
BEBAN PUNCAK PADA TAHUN 2019

Bulan	Beban Puncak
Januari	36.52666667
Februari	35.81666667
Maret	35.97
April	36.42666667
Mei	36.21
Juni	36.13666667
Juli	36.17333333
Agustus	36.06
September	35.9
Oktober	36.15
November	36.36666666
Desember	36.42

Berdasarkan tabel diatas, bulan Februari memiliki rata-rata beban terkecil dengan nilai 35,817 MW dan rata-rata beban terbesar dengan nilai di bulan Januari dengan nilai beban 36,527 MW. Setelah mendapatkan rata-rata beban maka dibuat dan akan terlihat fluktuasi dari beban sangat kecil perubahannya dan beban yang terjadi relatif sama pada setiap bulannya. Kurva beban dapat dilihat pada Gambar 4 dsebagai berikut.



Gambar 4. Kurva Beban Tahun 2019

Setelah kurva beban tahunan dari pembangkit didapat, maka selanjutnya dibuat kurva lama beban yang akan

digunakan untuk memperhitungkan nilai indeks keandalan LOLP dan LOLE.

D. Loss of Load Probability (LOLP)

Nilai LOLP diperoleh dengan mengalikan probabilitas kumulatif (kW) dari kapasitas yang dapat diperbaiki dari sistem unit 3-pembangkit dengan perpotongan kurva beban panjang. dinyatakan dalam hari per tahun (t).

TABEL 11
NILAI LOLP

Capacity of Out Service (MW)	Capacity of In Service (MW)	Fo (Le)	Probabilitas Individu	LOLP
0	110	0	1	0
25	85	1	0.018000091	0.018000091
60	50	1	0.002955829	0.002955829
50	60	1	9.97E-05	9.97E-05
85	25	1	4.39E-05	4.39E-05
110	25	1	1.62E-07	1.62E-07
TOTAL				0.021099746

Tabel 11 menunjukkan bahwa nilai LOLP tahun 2019 sebesar 0.021099746. hasil tersebut memenuhi standar dari indeks keandalan LOLP yaitu sebesar 0.1 hari/tahun.

E. Loss of Load Expectation

Nilai LOLE diperoleh dengan mengalikan probabilitas kehilangan beban dari sistem unit 3-pembangkit dengan 365 hari.

$$LOLP = 0.021099746 * 365 = 7.701407281 \text{ hari/tahun}$$

Jadi, indeks keandalan LOLE dari sistem pembangkit ialah 7.701 hari/tahun sehingga hasil tersebut belum memenuhi standar dari indeks keandalan.

IV. KESIMPULAN

Berdasarkan perhitungan dan analisis peneliti dapat disimpulkan bahwa PLTU Embalut mendapat nilai LOLP sebesar 0,021099746 hari/tahun pada tahun 2019. Sedangkan standar yang ditetapkan oleh PT PLN (Persero) pada periode RUPTL PLN 2018-2027 adalah 1 hari /tahun, dapat dikatakan kehandalan pembangkit PLTU Embalut tahun 2019 berada pada kategori andal.

Nilai LOLE adalah 7,701407281 hari/tahun. Walaupun standar yang ditetapkan oleh PT PLN (Persero) pada RUPTL PLN periode 2018-2027 adalah 1 hari/tahun, namun dapat dikatakan indeks keandalan pembangkit PLTU Embalut tahun 2019 termasuk dalam kategori kurang andal.

REFERENSI

- [1] Syahrial, "Studi Keandalan ketersediaan daya pembangkit listrik pada jaringan daerah X" elkomika, 2018
- [2] Ulil, Albab "Upaya peningkatan indeks keandalan sistem pembangkit dengan peningkatan kapasitas sistem pembangkit" Jom FTEKNIK, 2019.
- [3] S. Elektro "Perhitungan Nilai LOLP pada PLTG PT Pertamina EP Asset IV Field Sukowati menggunakan perhitungan discrete distribution" 2020.
- [4] Apriani, rina "Perhitungan Loss Of Load Probability sistem tenaga listrik di Pt. Pupuk Sriwidjaya", 2335 – 0457, 2015.
- [5] Maros, himah " Perhtiungan LOLP dan LOLE pada sistem pembangkit yang beroperasi" 2020