

## STUDI KEANDALAN LOLP MENGUNAKAN METODE DISCRETE DISTRIBUTION DI PLTU SURALAYA UNIT 5 – 7

Dhea Rahmalia Henidar, Felycia, Masjudin, Wahyuni  
Martiningsih, Fadil Muhammad

Jurusan Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas  
Sultan Ageng Tirtayasa, Cilegon, Banten.

### Informasi Artikel

#### Naskah Diterima :

11 Oktober 2024

**Direvisi :** 24 November 2024

**Disetujui :** 28 November 2024

doi: 10.62870/setrum.v13i2.29107

#### \*Korespondensi Penulis :

dheahenidar@gmail.com

### Graphical abstract



### Abstract

The need for electrical energy is increasing in direct proportion to consumers' electrical power needs, making reliable power plants essential. System unreliability negatively impacts the availability of electrical energy, leading to losses due to insufficient supply. This research focuses on PLTU Suralaya units 5 – 7. The study employs LOLP (Loss of Load Probability) calculations to measure generator efficiency using a discrete distribution method with a binomial distribution, utilizing PDF and CDF functions. This method randomly varies the variable based on the FOR (Forced Outage Rate) value. Calculations are performed using Python programming. The research aims to assess PLTU Suralaya's reliability over the past five years. A higher LOLP value indicates lower reliability, with LOLP expressed in days per year. The average LOLP over the past five years was 11.686% or 42.654 days/year. The LOLP value at PLTU Suralaya units 5 – 7 during 2019 - 2023 does not meet the PLN standard of a maximum of 0.274% or 1 day/year, nor the international standards set by General Electric and NERC (North American Electric Corporation), which allow a maximum of 0.1 days/year. These findings are used as an evaluation for improvements based on historical analysis, such as adding one generating unit with a capacity of 600 MW, which reduces the LOLP value to 0.492% or 1.7954 days/year. Adding two generating units, each with a capacity of 600 MW, further reduces the LOLP value to 0.0094% or 0.0344 days/year.

**Keywords:** Reliability, LOLP, Discrete Distribution, FOR.

### Abstrak

Kebutuhan energi listrik semakin meningkat berbanding lurus dengan kebutuhan daya listrik konsumen, sehingga diperlukan pembangkit listrik yang andal. Ketidakandalan sistem pembangkit mempengaruhi ketersediaan energi

listrik dan mengakibatkan rugi karena kurangnya pasokan listrik. Penelitian berlokasi di PLTU Suralaya unit 5 – 7. Penelitian menggunakan perhitungan LOLP (*Loss of Load Probability*) untuk mengukur keandalan pembangkit dengan metode *discrete distribution* menggunakan distribusi binomial, dengan fungsi PDF dan CDF. Metode ini memvariasikan variabel acak dari nilai FOR (*Forced Outage Rate*). Perhitungan menggunakan pemrograman Python. Penelitian bertujuan untuk menganalisis keandalan di PLTU Suralaya yang diukur dalam kurun waktu 5 tahun kebelakang. Semakin besar nilai LOLP menunjukkan kualitas keandalan pembangkit yang rendah, LOLP dinyatakan dalam hari/tahun. Hasil rata-rata LOLP dalam 5 tahun kebelakang sebesar 11,686% atau 42,654 hari/tahun. Nilai LOLP pada PLTU Suralaya unit 5 – 7 dalam kurun waktu 2019 - 2023 belum memenuhi standar PLN maksimal sebesar 0,274% atau 1 hari/tahun dan standar internasional berdasarkan *General Electric* dan NERC (*North American Electric Corporation*) maksimal sebesar 0,1 hari/tahun, hasil tersebut dijadikan evaluasi perbaikan berdasarkan analisis historis berupa penambahan 1 unit pembangkit berkapasitas 600 MW, hasilnya nilai LOLP berkurang menjadi 0,492% atau 1,7954 hari/tahun dan penambahan 2 unit pembangkit masing-masing berkapasitas 600 MW, hasilnya nilai LOLP menjadi 0,0094% atau 0,0344 hari/tahun.

Kata Kunci: Keandalan, LOLP, *Discrete Distribution*, FOR.

© 2024 Penerbit Jurusan Teknik Elektro UNTIRTA Press. All rights reserved

## 1. PENDAHULUAN

Listrik merupakan energi yang berperan penting dalam berbagai sektor. Pertumbuhan ekonomi sebesar 7% berbanding lurus dengan pertumbuhan listrik sebesar 8,7% setiap tahunnya. Beban puncak listrik di tahun 2023 mengalami peningkatan sebesar 39,43% dengan tahun sebelumnya, pada sistem interkoneksi Jawa Bali beban puncak mencapai 40.223,47 MW dan di luar Jawa Bali mencapai 18.059,01 MW. PT PLN Indonesia Power UBP Suralaya merupakan pembangkit listrik yang memasok daerah Jawa dan Bali. Pembangkit listrik Suralaya mempunyai kapasitas 3400 MW dan memiliki 7 unit pembangkit. Unit 1 – 4 mempunyai kapasitas sebesar 400 MW dan pada unit 5 – 7 sebesar 600 MW.

PLTU Suralaya, yang dikelola oleh PT PLN Indonesia Power, berperan penting dalam sistem interkoneksi Jawa-Bali, dengan kapasitas total 3.400 MW, menyediakan sekitar 17% kebutuhan listrik di wilayah tersebut. Keandalan pembangkit sering terhambat oleh gangguan sistem, yang diukur dengan indeks keandalan *Loss of Load Probability* (LOLP). LOLP menggambarkan probabilitas kekurangan daya akibat ketidakterediaan unit pembangkit dan digunakan untuk mengevaluasi keandalan sistem pembangkit. Nilai LOLP dipengaruhi oleh probabilitas FOR (*Forced Outage Rate*) yang menggambarkan tingkat unit pembangkit listrik tidak tersedia untuk pelayanan yang dibutuhkan atau laju kegagalan pembangkit.

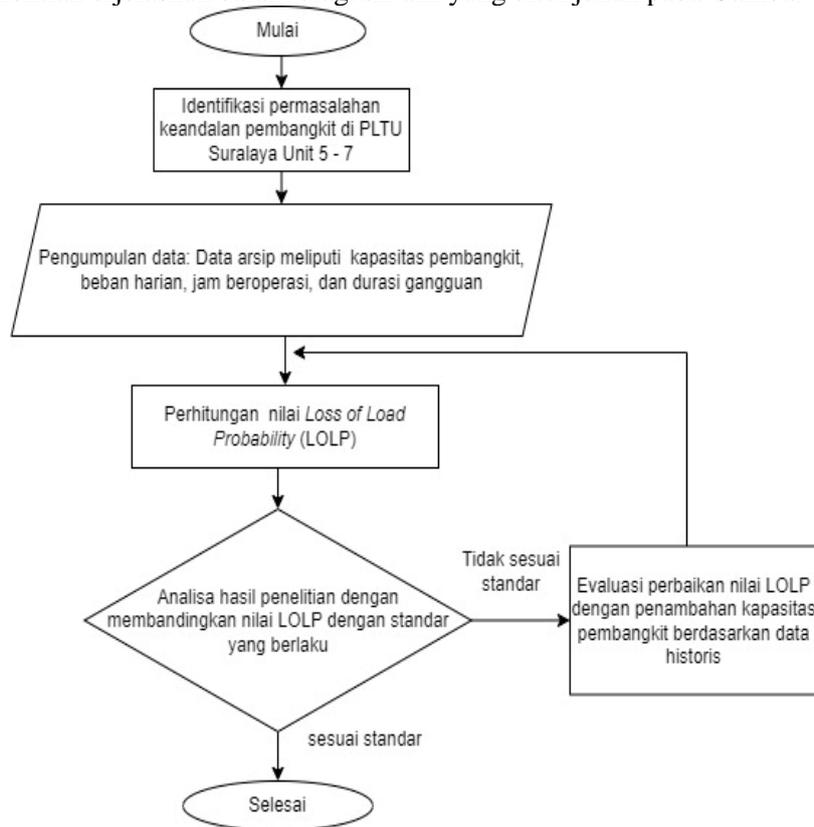
Metode perhitungan LOLP dilakukan secara manual memerlukan data yang kompleks dan memakan waktu. Pada penelitian ini perhitungan menggunakan metode *discrete distribution* menggunakan distribusi binomial untuk menghitung nilai LOLP pada PLTU Suralaya unit 5 – 7. Terdapat dua fungsi dalam metode perhitungan ini yaitu PDF (*Probability Density Function*) untuk menghitung peluang semua kejadian dan CDF (*Cummulative Distribution Function*) untuk mendapat nilai probabilitas kumulatif berdasar kombinasi nilai terkecil. Pada penelitian ini menggunakan Bahasa pemrograman Python dalam proses pengolahan data yang memungkinkan analisis yang lebih cepat, akurat, dan efisien. Data historis gangguan selama lima tahun digunakan dalam mengevaluasi kinerja

pembangkit dengan menggunakan standar yang berlaku. Di Indonesia standarisasi LOLP mengacu pada Keputusan Menteri ESDM tentang Rencana Usaha Penyediaan Tenaga Listrik (RUPTL) PLN yaitu maksimal sebesar 1 hari/tahun. Standar internasional yang digunakan mengacu pada peraturan utilitas perusahaan berdasarkan *General Electric* dan NERC (*Noth American Electric Corporation*) untuk LOLP maksimal sebesar 1 hari/10 tahun atau 0,1 hari/tahun. Penelitian ini bertujuan untuk memberikan solusi dalam meningkatkan keandalan pembangkit melalui evaluasi LOLP yang efisien, untuk mendukung stabilitas pasokan listrik nasional.

## 2. METODE PENELITIAN

### 2.1 Diagram Alir Penelitian

Alur penelitian dijelaskan dalam diagram alir yang ditunjukkan pada Gambar 1.



Gambar 1. Diagram Alir Penelitian

### 2.2. Data-data yang diperlukan:

1. Data pembangkit
2. Data jumlah unit pembangkit
3. Data kapasitas pembangkit per unit
4. Data kurva beban harian pembangkit
5. Data jumlah jam beroperasi
6. Data durasi gangguan

### 2.3. Software

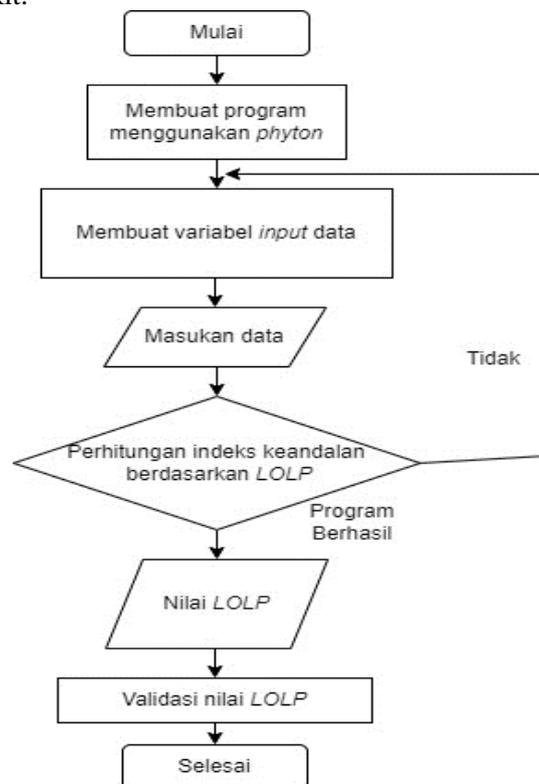
Perangkat lunak yang diperlukan dalam penelitian ini adalah aplikasi untuk menjalankan bahasa pemrograman Python dengan menggunakan Google Colab. Google Colab digunakan dalam mempermudah dan mendukung bahasa pemrograman Python tanpa perlu melakukan instalasi. Pada penelitian ini menggunakan bahasa pemrograman Python. Penggunaan bahasa pemrograman bertujuan untuk mempermudah perhitungan yang kompleks menjadi lebih sederhana dan memperoleh hasil dengan lebih cepat.

### 2.4. Metode Penelitian

Pada penelitian ini, metode yang digunakan adalah analisis histori, dengan menggunakan perhitungan *discrete distribution* dengan jenis distribusi binomial yang memiliki dua kemungkinan peristiwa dalam hal ini berupa kondisi pembangkit dalam keadaan normal maupun gangguan, dalam

perhitungan ini terdapat dua fungsi metode perhitungan, yaitu PDF (*Probability Density Function*) dan CDF (*Cummulative Distribution Function*). PDF berfungsi untuk menghitung peluang semua kejadian, sedangkan CDF berfungsi di dalam memperoleh nilai probabilitas kumulatif dari nilai probabilitas kombinasi yang memiliki nilai terkecil. Penelitian memerlukan data durasi gangguan yang berfungsi di dalam memperoleh hasil dari nilai FOR (*Force Outage Rate*).

Nilai FOR menunjukkan kondisi pembangkit sedang mengalami gangguan maupun perbaikan yang mengakibatkan sistem pembangkit tidak dapat berjalan sebagaimana mestinya, apabila pembangkit dalam keadaan normal nilai dari probabilitas pembangkit dinyatakan dalam probabilitas normal yang merupakan hasil dari nilai satu dikurangi dengan nilai FOR dari pembangkit tiap unit. Nilai dari probabilitas kehilangan beban suatu pembangkit, didapat dari hasil perkalian antara probabilitas terjadinya FOR dengan lamanya jam beroperasi pembangkit. Nilai FOR digunakan dalam membuat tabel kumulatif, untuk mencari kombinasi dari probabilitas pembangkit. Nilai LOLP dapat diperoleh dari sistem pembangkit yang memiliki kurva kapasitas tersedia dan beban harian pembangkit, yang dapat menghasilkan nilai beban puncak, sehingga diperoleh durasi gangguan dan jumlah jam operasi tiap unit pembangkit.



Gambar 2. Flowchart Pembuatan Program Python

Berdasarkan Gambar 2 penelitian mengenai indeks keandalan berdasarkan kehilangan beban menggunakan program Python untuk mempermudah komputasi perhitungan. Data yang diolah dalam program berupa data kapasitas pembangkit, data beban pembangkit, data jam gangguan sistem pembangkit, dan data jam beroperasi pembangkit tiap unit, langkah lainnya yaitu melakukan pengecekan program, agar program perhitungan memperoleh hasil yang sesuai dengan perhitungan manual. Pembuatan program bertujuan untuk mempermudah dan mempercepat proses perhitungan probabilitas kehilangan beban. Pada perancangan bahasa pemrograman Python menggunakan *library NumPy* yang digunakan dalam komputasi matematika dan penggunaan *array*, selain itu digunakan *library Pandas* yang memuat stuktur data, *library* ini digunakan untuk membaca file CSV yang memuat data penelitian dan mengubahnya kedalam bentuk *Data Frame*. Data yang di *input* berupa durasi gangguan, jumlah unit, dan tahun dengan memasukan rumus FOR dan kondisi pembangkit dalam keadaan normal. Dilakukan kombinasi variabel acak berdasarkan kemungkinan peristiwa gangguan pembangkit di unit 5 – 7 PLTU Suralaya. Hasil kombinasi akan menghasilkan nilai probabilitas individu dan kumulatif lima tahun kebelakang. Penyusunan probabilitas individu berdasarkan FOR menggunakan *array* yang memuat kumpulan nilai yang diurutkan dari gangguan terkecil hingga

terbesar. Hasil probabilitas dikalikan dengan titik perpotongan kurva puncak harian PLTU Suralaya unit 5 – 7, sehingga ketika program dijalankan akan menghasilkan *output* nilai LOLP dalam hari/tahun.

### 3. HASIL DAN PEMBAHASAN

#### 3.1 Kapasitas PLTU Suralaya Unit 5 – 7

Pada penelitian dilakukan pengambilan data sebanyak 3 unit sistem pembangkit listrik yang ada di PLTU Suralaya, yaitu unit 5, 6, dan 7 yang memiliki total kapasitas sebesar 1800 MW, yang ditunjukkan pada Tabel 1.

Tabel 1 Kapasitas Unit 5 – 7 PLTU Suralaya

Unit	Daya Terpasang (MW)	Daya Mampu (MW)
5	600	575,2
6	600	575,2
7	600	575,2
<b>Total</b>	<b>1.800</b>	<b>1.725,6</b>

Berdasarkan Tabel 1 Daya terpasang atau daya mampu untuk dibangkitkan oleh generator yang ada di PLTU Suralaya sebesar 600 MW untuk unit 5 – 7 dengan daya terpasang total sebesar 1.800 MW, daya terpasang di PLTU Suralaya dapat mengalami perubahan berupa penambahan kapasitas, sesuai kebutuhan beban konsumen. Daya Mampu Netto (DMN) atau kapasitas pembangkit yang ada di PLTU Suralaya yang digunakan dalam menghasilkan daya (MW) setelah dikurangi oleh pemakaian sendiri dari PLTU Suralaya unit 5 – 7 sebesar 575,2 MW yang digunakan untuk menyuplai konsumen dengan total daya mampu PLTU Suralaya sebesar 1.725,6 MW.

#### 3.2. Kombinasi Acak Probabilitas Unit 5 – 7

Banyaknya kombinasi probabilitas pembangkit pada PLTU Suralaya dapat diketahui dengan menggunakan perhitungan sebagai berikut.

$$\begin{aligned} \text{Kombinasi} &= 2^n \\ &= 2^3 \\ &= 8 \text{ Kombinasi} \end{aligned}$$

Terdapat 2 kemungkinan peristiwa di pembangkit unit 5 – 7 yaitu kondisi pembangkit dalam keadaan beroperasi secara normal dan kondisi pembangkit dalam keadaan gangguan (*outage*) yang ditunjukkan dengan angka 2 pada perhitungan. Nilai n diambil dari data jumlah dari pembangkit yang diamati sebanyak 3 unit pembangkit yaitu unit 5, 6, dan 7.

#### 3.3. Nilai FOR (*Forced Outage Rate*)

Nilai FOR menggambarkan kegagalan dari sistem pembangkit unit 5 – 7. Kondisi ini menyebabkan unit 5 – 7 harus melakukan penonaktifan sementara komponen, sampai komponen dapat bekerja sesuai fungsinya. Nilai FOR diamati dalam jangka waktu satu tahun atau 8760 jam operasi pembangkit unit 5 – 7 PLTU Suralaya. Untuk mengetahui nilai FOR diperlukan data dari durasi gangguan tiap unit pembangkit yang diamati. Nilai FOR pada pembangkit unit 5 – 7 dapat dilihat pada Tabel 2.

Tabel 2. Data FOR Unit 5 – 7

Tahun	Unit 5 (Hari/Tahun)	Unit 6 (Hari/Tahun)	Unit 7 (Hari/Tahun)
2023	0,0222	0,0236	0,0127
2022	0,0996	0,1239	0,0263
2021	0,0301	0,0269	0,0921
2020	0,0008	0,0251	0,0360
2019	0,0363	0,0052	0,0234

Berdasarkan Tabel 2 nilai FOR berada diantara probabilitas kurang dari 1. Nilai FOR diperoleh dalam rentang 2019 sampai dengan 2023 pada unit 5 – 7. Nilai FOR berasal dari data durasi gangguan yang diperoleh dan digunakan dalam mengetahui probabilitas individu dan kumulatif LOLP pada unit 5 – 7. Nilai FOR pada unit 5 – 7 berasal dari beberapa jenis gangguan yang berasal dari kerusakan komponen pada PLTU Suralaya, sehingga memerlukan waktu yang cukup lama untuk pembangkit dapat beroperasi secara normal. Nilai FOR dapat digunakan untuk mengetahui probabilitas pembangkit

jika bekerja secara normal. Nilai probabilitas pembangkit dalam kondisi normal ditunjukkan pada Tabel 3.

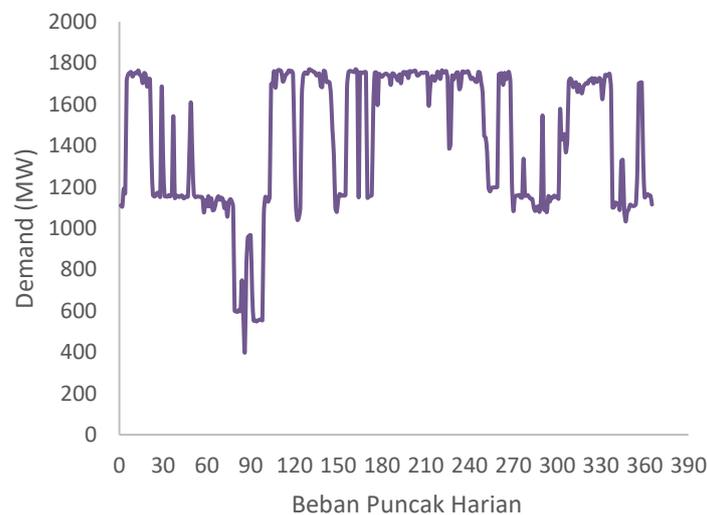
Tabel 3. Probabilitas Unit 5 – 7 Beroperasi Normal

Tahun	Unit 5 (Hari/Tahun)	Unit 6 (Hari/Tahun)	Unit 7 (Hari/Tahun)
2023	0,9778	0,9764	0,9873
2022	0,9004	0,8761	0,9737
2021	0,9699	0,9731	0,9079
2020	0,9992	0,9749	0,9640
2019	0,9637	0,9948	0,9766

Tabel 3 menunjukkan kondisi pembangkit unit 5 – 7 yang beroperasi bekerja sesuai fungsinya dan sedang tidak mengalami gangguan baik dalam status FO1, FO2, dan FO3. Nilai tersebut diperoleh dalam rentang waktu 5 tahun kebelakang yaitu tahun 2019 – 2023.

### 3.4. Kurva Beban Harian Pembangkit Listrik Unit 5 – 7

Kurva beban rata-rata ditampilkan dalam LDC (*Load Duration Curve*) yang diambil dalam kurun waktu 12 bulan. Untuk mencari nilai LOLP diambil data mengenai beban rata-rata dan beban puncak pembangkit listrik. Pengambilan data dalam rentang waktu 365 hari. Grafik beban puncak harian PLTU Suralaya unit 5 – 7 ditunjukkan pada Gambar 4.



Gambar 3. Beban Harian PLTU Suralaya Unit 5 – 7

Gambar 3 menunjukkan beban puncak selama satu tahun di PLTU Suralaya unit 5 – 7. Daya minimum bernilai 0 MW dan daya maksimum mencapai 1800 MW, dengan masing-masing kapasitas unit pembangkit yaitu 600 MW. Kurva beban pada Gambar 4 menggambarkan jumlah beban yang dihasilkan oleh PLTU Suralaya berdasarkan kebutuhan konsumen. Kurva lamanya beban digunakan dalam menentukan faktor keandalan pembangkit. Rata-rata beban harian terendah berada pada kisaran 400 MW dan rata-rata beban tertinggi pada rentang 1.700 MW.

### 3.5. Perancangan Program Python

Pada penelitian nilai LOLP di PLTU Suralaya unit 5 – 7, dilakukan perhitungan dengan menggunakan bahasa pemrograman Python. Pada penelitian ini digunakan stuktur kode menggunakan *Library pandas* dan *numpy*.

```
import pandas as pd
import numpy as np
from itertools import product
df = pd.read_csv('DataGangguan.csv')
```

*Library pandas* berfungsi di dalam proses analisis data pada perhitungan LOLP unit 5 – 7 PLTU Suralaya yang memuat stuktur data pembangkit. *Library pandas* digunakan juga untuk membaca

format *file* dalam bentuk CSV. Pada penelitian data CSV membuat data historis berupa jumlah unit, kapasitas pembangkit, durasi gangguan, dan jam beroperasi dalam rentang waktu 5 tahun kebelakang. Pada penelitian ini digunakan juga *library numpy* yang berguna dalam proses perhitungan probabilitas pembangkit unit 5 – 7 dalam operasi *array*. *Itertools* digunakan dalam menampilkan kombinasi kondisi pembangkit.

```
FOR = [(gangguan) / (jam_beroperasi + gangguan)
for gangguan in durasi_gangguan]
probNormal = np.array([FOR, [1 - val for val in FOR]])
```

Pada *listing code* dimasukan rumus untuk mencari nilai FOR pada unit 5 – 7 PLTU Suralaya. Nilai FOR diperoleh dari data yang berasal dari *file* CSV yang berisikan data gangguan dan durasi gangguan pada Unit 5 – 7. Dengan menggunakan rumus tersebut diperoleh nilai probabilitas FOR dan probabilitas pembangkit dalam keadaan normal dalam rentang waktu 5 tahun di PLTU Suralaya.

```
Kombinasi = sorted(product([0, 1], repeat=jumlah_unit), key=lambda
x: -sum(x))
arrayProbIndividu=[np.prod(probNormal[comb, range(jumlah_unit)]) for
comb
in Kombinasi]
KombinasiKumulatif = [0] * (jumlah_unit + 1)
```

Dilakukan penyusunan kombinasi unit pembangkit dengan menggunakan program yang dilambangkan dengan angka biner 1 dan 0 secara berulang-ulang. 1 menunjukkan pembangkit dalam keadaan normal dan 0 dalam keadaan gangguan. Kombinasi ini mengurutkan unit berdasarkan pada jumlah unit dalam perbaikan, dari *outage* terendah ke *outage* terbesar. Pada penelitian terdapat 4 kemungkinan yaitu ketika jumlah pembangkit dalam keadaan *outage* adalah 0, 1, 2, maupun 3 pembangkit.

```
unit_rows = []
for comb, prob in zip(Kombinasi, arrayProbIndividu):
    count_ones = sum(comb)
    KombinasiKumulatif[count_ones] += prob
    kap_perbaikan = sum([comb[j] * daya_per_unit for j
in range(jumlah_unit)])
    kap_normal = total_kapasitas_normal - kap_perbaikan
    unit_rows.append(["".join(map(str, comb)), kap_perbaikan,
    kap_normal, f"{prob:.10f}"])
```

Untuk melakukan perhitungan probabilitas individu dilakukan perhitungan berdasarkan pada kapasitas dalam perbaikan maupun kapasitas normal dengan total kapasitas sebesar 1800 MW dan daya masing-masing unit sebesar 600 MW. Perhitungan probabilitas individu berdasarkan pada kombinasi unit. Dilakukan perhitungan berdasarkan daya unit pembangkit. Perhitungan memuat probabilitas individu dalam digit desimal.

```
prob_kumulatif_rows = []
probabilitasAwal = 1
LOLP = 0
for y in range(jumlah_unit, 0, -1):
    probabilitasAwal -= KombinasiKumulatif[y]
    LOLP += probabilitasAwal
    prob_kumulatif_rows.append([y*daya_per_unit,
    total_kapasitas_normal - y * daya_per_unit,
    f"{KombinasiKumulatif[y]:.10f}", f"{probabilitasAwal:.10f}"])
prob_kumulatif_rows.append([0, total_kapasitas_normal,
f"{KombinasiKumulatif[0]:.10f}", f"{probabilitasAwal:.10f}"])
```

Probabilitas kumulatif dilakukan inisialisasi dengan nilai 1. Dilakukan perhitungan dengan iterasi dengan jumlah 3 unit. Pada perhitungan ini dilakukan perhitungan probabilitas kumulatif yang diurutkan berdasarkan jumlah gangguan terendah hingga tertinggi. Nilai total dari probabilitas keseluruhan adalah 1. Probabilitaas kumulatif dihasilkan dari penjumlahan probabilitas berdasarkan unit dengan gangguan yang sama. Probabilitas total kemudian dikurangi dengan kombinasi kumulatif dari masing-masing kombinasi dengan *outage* yang sama dimulai dari *outage* 0 MW hingga 1800 MW.

Nilai dari probabilitas kumulatif ini kemudian dilakukan untuk mencari nilai LOLP dalam rentang waktu 5 tahun.

Tabel 4. Hasil *Running* Probabilitas Individu Program Python

UNIT			Normal (MW)	Outage (MW)	Probabilitas
5	6	7			
1	1	1	1800	0	0,9426202451
0	1	1	1200	600	0,0214356794
1	0	1	1200	600	0,0227670766
1	1	0	1200	600	0,0120858765
0	0	1	600	1200	0,0005177353
0	1	0	600	1200	0,0002748392
1	0	0	600	1200	0,0002919098
0	0	0	0	1800	6,638200E-06
$\Sigma$					1

Pada Tabel 4 menunjukkan hasil dari probabilitas individu melalui hasil perhitungan Python, hasil yang diperoleh menunjukkan nilai yang sama dengan hasil perhitungan secara manual. Pada program Python diperoleh probabilitas kumulatif, seperti yang tertera pada Tabel 5.

Tabel 5. Hasil *Running* Probabilitas Kumulatif Program Python

Outage (MW)	Normal (MW)	Probabilitas	Probabilitas Kumulatif
0	1800	0,9426202451	1,0000000000
600	1200	0,0562886325	0,0573797549
1200	600	0,0010844842	0,0010911224
1800	0	6,638200E-06	6,638200E-06

Pada Tabel 5 menunjukkan nilai dari probabilitas kumulatif yang dihasilkan dari program Python. Hasil tersebut menunjukkan hasil perhitungan yang sama seperti perhitungan manual. Nilai probabilitas kumulatif diperoleh berdasarkan daya PLTU Suralaya unit 5 – 7 dalam kondisi normal dan gangguan.

Bahasa pemrograman Python digunakan untuk menghitung nilai LOLP berdasarkan data historis 5 tahun kebelakang. Pada hasil program Python diperoleh hasil LOLP untuk rentang waktu 5 tahun kebelakang, berdasarkan data yang dimuat pada *file* CSV. Dilakukan validasi untuk hasil Python dengan menggunakan satu sampel perhitungan secara manual pada tahun 2023 yang dapat dilihat pada Tabel 4 untuk perhitungan probabilitas individu dan Tabel 5 untuk perhitungan probabilitas kumulatif.

Pada program Python diperoleh hasil LOLP yang sama berdasarkan perhitungan secara manual dan pemrograman sebesar 21,344 hari LOLP dalam tahun 2023, maka dari itu program dapat diuji untuk melakukan perhitungan tahun sebelumnya. Perhitungan secara manual dan pemrograman Python memiliki nilai yang sama, akan tetapi secara perhitungan program Python ini memiliki keunggulan dibandingkan perhitungan dengan Excel maupun aplikasi lain. Pada Python dapat dilakukan untuk melakukan perhitungan dengan kombinasi yang banyak secara lebih cepat tanpa perlu menghitung satu persatu, hanya memerlukan *file* dalam bentuk CSV.

### 3.6. LOLP PLTU Suralaya Unit 5 - 7

LOLP digunakan untuk memperkirakan keandalan pembangkit listrik di PLTU Suralaya unit 5 -7. Perhitungan LOLP pada PLTU Suralaya unit 5 – 7 digunakan untuk mengevaluasi agar pembangkit dapat melayani secara optimal. Nilai LOLP pada PLTU Suralaya unit 5 – 7 ditunjukkan pada Tabel 6.

Tabel 6. Nilai LOLP PLTU Suralaya Unit 5 – 7 Selama 5 Tahun

Tahun	LOLP (%)	LOLP (Hari)
2023	5,850	21,344
2022	24,98	91,172
2021	14,91	54,431
2020	6,200	22,620
2019	6,490	23,701
<b>Rata-Rata</b>	<b>11,686</b>	<b>42,654</b>

Tabel 6 menunjukkan nilai LOLP pada PLTU Suralaya unit 5 – 7 dalam rentang waktu lima tahun yang diperoleh dari hasil perhitungan melalui program Python. Nilai LOLP pada PLTU Suralaya unit 5 – 7 tergolong cukup tinggi. Pada Tabel 6 diperoleh nilai rata-rata LOLP dalam kurun waktu 5 tahun kebelakang. Berdasarkan Tabel 6 diperoleh rata-rata LOLP selama kurun waktu 5 tahun di PLTU Suralaya sebesar 42,654 hari atau 11,686%. Nilai tersebut tergolong tinggi dan belum memenuhi standar LOLP yang ada di Indonesia yaitu sebesar 1 hari/tahun atau 0,274% sesuai dengan RUPTL PLN Tahun 2021 – 2030. Besarnya nilai LOLP pada unit 5 – 7 PLTU Suralaya disebabkan oleh durasi gangguan yang lama. LOLP tertinggi terjadi pada tahun 2022 sebesar 24,98% atau sekitar 91,172 hari, menunjukkan ditahun tersebut terjadi durasi gangguan yang besar, sedangkan LOLP terendah terjadi pada tahun 2023 sebesar 5,850% atau 21,344 hari menunjukkan probabilitas gangguan yang lebih minim. Semakin besar nilai LOLP pada unit 5 - 7 di PLTU Suralaya menunjukkan nilai keandalan yang semakin rendah.

### 3.7. Perbaikan LOLP

Nilai LOLP yang diperoleh dalam jangka waktu lima tahun kebelakang belum memenuhi standar LOLP. Berdasarkan RUPTL PLN Tahun 2021 – 2030 standar LOLP sebesar 0,274% atau 1 hari/tahun. Maka dari itu dilakukan evaluasi perbaikan nilai LOLP menggunakan program Python. Penambahan unit pembangkit menghasilkan 16 kombinasi variabel acak peristiwa *outage* yang terjadi. Perhitungan probabilitas dimulai dari MW gangguan terendah sampai dengan MW dengan gangguan tertinggi. Daya tertinggi sebesar 2.400 MW dan daya terendah sebesar 0 MW dengan total 4 pembangkit. Nilai dari durasi gangguan diambil dari evaluasi LOLP lima tahun kebelakang. Perhitungan menggunakan bahasa pemrograman Python dengan mengambil nilai rata-rata FOR yang diperoleh dalam kurun waktu lima tahun kebelakang. Diperoleh probabilitas kumulatif dari kemungkinan LOLP setelah dilakukan penambahan 1 kapasitas unit sebesar 600 MW. Kapasitas *outage* dihitung dari gangguan terendah dari 0 MW hingga 2400 MW. Hasil dari probabilitas kumulatif dikalikan dengan rata-rata beban puncak harian pada tahun sebelumnya. Berdasarkan perhitungan diperoleh hasil LOLP sebesar 0,492 % atau 1,795 hari / tahun, melalui penambahan 1 unit pembangkit listrik tenaga uap dengan kapasitas yang sama, nilai rata-rata LOLP lima tahun kebelakang yang semulanya tinggi yaitu sebesar 42.654 hari/tahun atau 11,686% dapat diperkecil dan mendekati standar PLN.

Pada penelitian nilai LOLP belum memenuhi standar PLN, maka dari itu dilakukan evaluasi kembali dengan penambahan 2 kapasitas unit pembangkit masing-masing sebesar 600 MW. Jumlah pembangkit menjadi 5 unit dengan banyaknya kombinasi sebanyak 32 unit dengan daya total sebesar 3000 MW. Melalui perhitungan program Python diperoleh nilai LOLP sebesar 0,0344 hari atau 0,0094%. Nilai tersebut sudah jauh memenuhi standar PLN sebesar 1 hari/tahun atau 0,274% dan standar internasional sebesar 0,1 hari/tahun.

## 4. KESIMPULAN

Hasil penelitian menunjukkan bahwa keandalan PLTU Suralaya Unit 5–7 dipengaruhi oleh nilai FOR, FOR tertinggi tercatat pada Unit 6 tahun 2022 sebesar 0,1239. Pada periode 2019–2023, nilai rata-rata *Loss of Load Probability* (LOLP) sebesar 42,654 hari/tahun atau 11,686%, jauh di atas standar RUPTL PLN sebesar 1 hari/tahun atau 0,274% dan standar internasional sebesar 0,1 hari/tahun. Untuk meningkatkan keandalan, dilakukan simulasi skenario penambahan kapasitas pembangkit dengan 1 unit 600 MW yang menghasilkan LOLP sebesar 1,795 hari/tahun atau 0,492%, dan dengan 2 unit 600 MW yang menghasilkan LOLP sebesar 0,0344 hari/tahun atau 0,0094%. Hal ini menunjukkan

bahwa penambahan kapasitas pembangkit efektif dalam menurunkan nilai LOLP mendekati standar yang ditetapkan.

Untuk mendukung peningkatan keandalan di masa mendatang, perlu dilakukan skenario perbaikan dengan mempertimbangkan peramalan beban tahun-tahun mendatang menggunakan perhitungan *Expected Energy Not Served* (EENS) dan metode terbaru untuk perhitungan LOLP, guna memperoleh evaluasi yang akurat untuk menjamin stabilitas pasokan listrik nasional.

#### REFERENSI

- [1] Johan S., A. M. Ginting, "Determinasi Konsumsi Listrik di Indonesia," *Media Ekon*, vol. 30, no. 1, pp. 106–117, 2022.
- [2] PT PLN., *Statistik PLN 2023*. Jakarta: PT. PLN (Persero), 2024.
- [3] Felycia, A. Nugraha, N. G. Pahiyanti, "Sistem Kendali dan Proteksi *Coal Feeder* pada Unit 1-4 PLN Indonesia Power UBP Suralaya," *Energi dan Kelistrikan : Jurnal Ilmiah*, vol. 15, no. 2, pp. 119–130, 2024.
- [4] Moses L., Perarasi, Raju, Gayathri, L. Lino, "Unwavering Quality Appraisal and Distributed Generation in Bus Dissemination Framework by LOLP Procedure," *IOP Conf. Ser. Mater. Sci. Eng*, vol. 1084, no. 1, 2021.
- [5] Ferdinant P. F., L. Nurdiana, A. Irman, "Evaluation of Power Plant Reliability Using Index Loss Of Load in The Suralaya Power Plant," *IOP Conf. Ser. Mater. Sci. Eng*, vol. 909, no. 1, 2020.
- [6] Senen A., "Aplikasi Penggunaan Visual Basic pada Perhitungan Indeks Keadaan Pembangkit," *Elektron J. Ilm*, vol. 11, no. 2, pp. 63–68, 2019.
- [7] Dharmawan R. R., "Analisis Indeks Keandalan PLTGU Blok 1 PT. PJB UP Gresik Menggunakan Teorema Bayes dan Decomposisi LU," *J. Tek. Elektro*, vol. 9, no. 3, pp. 658–665, 2020.
- [8] Diewvilai R., K. Audomvongseree, "Optimal Loss of Load Expectation for Generation Expansion Planning Considering Fuel Unavailability," *Energies*, vol. 15, no. 21, pp. 1–17, 2022.
- [9] Kim T. W., Y. Chang, D. W. Kim, M. K. Kim, "Preventive Maintenance and Forced Outages in Power Plants in Korea," *Energies*, vol. 13, no. 14, pp. 1–12, 2020.
- [10] Apriliyanto I., E. D. Malia, A. R. Usipa, A. D. Bhaswara, F. Rahman, "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)," *PoliGrid*, vol. 3, no. 2, p. 52, 2022.
- [11] Nathaniel B. L., P. Yonantan, S. Y. Rompon, P. T. Tiku, M. L. J., R. A. Robert, "Analisa Indeks Keandalan Sistem Pembangkit Listrik Pulau Miangas," *Pros. Semin. Nas. Prod. Terap. Unggulan Vokasi Politek. Negeri Manado*, vol. 1, no. 2, pp. 24–33, 2022.
- [12] Ulil A., S. D. Yayan, "Upaya Peningkatan Indeks Keandalan Sistem Pembangkit dengan Peningkatan Kapasitas Sitem Pembangkit," *Jom FTEKNIK*, vol. 6, no. 2, pp. 1–6, 2019.
- [13] Qamber I. S., "Loss of Load Expectation Calculation for Power Plant," *IET Conf. Publ*, pp. 1–6, 2019.
- [14] Sitopu J. W., S. Siswadi, "Fungsi Pembangkit Momen dari Distribusi Probabilitas Diskrit," *FARABI J. Mat. dan Pendidik. Mat.*, vol. 5, no. 2, pp. 144–153, 2022.
- [15] Pranata P. K., K. U. Three, A. Widi, W. Mahendra, "Perhitungan Nilai Loss of Load Probability (LOLP) pada PLTG PT PERTAMINA EP Asset IV Field Sukowati Menggunakan Perhitungan Discrete Distribution dan Cholesky Decomposition," *J. Tek. Elektro*, vol. 10, no. 3, pp. 639–648, 2021.