

## **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**

S1 Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Negeri Surabaya  
Email : kevin.17050874021@mhs.unesa.ac.id

**Unit Three Kartini, Widi Aribowo, Mahendra Widyartono**

S1 Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Negeri Surabaya  
Email : unitthree@unesa.ac.id, widiaribowo@unesa.ac.id, mahendrawidyartono@unesa.ac.id

### **Abstrak**

Pembangkit listrik adalah peralatan yang digunakan untuk membangkitkan listrik dengan cara mengonversi suatu energi menjadi energi listrik. Pada pembangkit listrik perlu diperhatikan keandalan sistem pembangkit dalam pemenuhan kebutuhan suatu beban. Keandalan sistem pembangkit dapat digambarkan dengan indeks keandalan pembangkit. Untuk memperhatikan keandalan sistem pembangkit maka dibutuhkan analisis yang digunakan untuk mengevaluasi indeks keandalan pembangkit tersebut, salah satunya yaitu *Loss of Load Probability (LOLP)*. Pada penelitian ini menyajikan perhitungan nilai *LOLP* pada PLTG PT Pertamina EP Asset IV Field Sukowati pada tahun 2020. Dalam perhitungan nilai *LOLP* yaitu dengan menggunakan permodelan matematis seperti *Discrete Distribution* dan *Cholesky Decomposition*. Pada PLTG PT Pertamina EP Asset IV Field Sukowati memiliki 4 unit pembangkit dengan masing-masing kapasitas memiliki daya sebesar 800 kW. Tiap unit pembangkit memiliki keandalan yang berbeda. Jika unit pembangkit sering mengalami gangguan maka indeks keandalan sistem pembangkit yang rendah. Durasi gangguan unit pembangkit mempengaruhi nilai *Forced Outage Rate (FOR)* yang nantinya digunakan untuk mencari probabilitas dari tiap kombinasi unit pembangkit. Dari nilai probabilitas inilah didapatkan nilai *LOLP*. Pada PLTG PT Pertamina EP Asset IV Field Sukowati didapatkan nilai *LOLP* sebesar 4,259535 hari/tahun. Sedangkan standar yang ditetapkan PT PLN (Persero) pada RUPTL PLN 2018-2027 sebesar 1 hari/tahun, maka dapat dikatakan indeks keandalan pembangkit di PLTG PT Pertamina EP Asset IV Field Sukowati pada tahun 2020 dalam kategori kurang andal.

**Kata kunci** : PLTG, keandalan, probabilitas, *LOLP*

### **Abstract**

A power plant is an equipment used to generate electricity by converting an energy into electrical energy. In power plants, it is necessary to pay attention to the reliability of the generating system in meeting the needs of a load. The reliability of the generating system can be described by the generator reliability index. To pay attention to the reliability of the generating system, an analysis is needed to evaluate the reliability index of the power plant, one of which is the *Loss of Load Probability (LOLP)*. This study presents the calculation of the *LOLP* value at the PLTG PT Pertamina EP Asset IV Field Sukowati in 2020. The calculation of the *LOLP* value is by using mathematical models such as *Discrete Distribution* and *Cholesky Decomposition*. The PLTG PT Pertamina EP Asset IV Field Sukowati has 4 generating units with each capacity having a power of 800 kW. Each generating unit has a different reliability. If the generating unit experiences frequent disturbances, the reliability index of the generating system is low. The duration of the generator unit disturbance affects the *Forced Outage Rate (FOR)* value which will be used to find the probability of each combination of generating units. From this probability value, the *LOLP* value is obtained. At the PLTG PT Pertamina EP Asset IV Field Sukowati, the *LOLP* value was 4,259535 days/year. While the standard set by PT PLN (Persero) in the 2018-2027 PLN RUPTL is 1 day/year, it can be said that the power plant reliability index at PT Pertamina EP Asset IV Field Sukowati PLTG in 2020 is in the less reliable category.

**Keywords** : PLTG, reliability, probability, *LOLP*

### **PENDAHULUAN**

Listrik merupakan energi yang dibutuhkan untuk rumah tangga maupun industri. Terdapat industri yang memiliki pembangkit sendiri. Sistem pembangkitan tanpa

bergantung pada PT PLN (Persero) adalah hal yang penting untuk dijaga keandalannya (Apriyani dan Rudyanto, 2015).

Keandalan sistem pembangkitan dibagi menjadi dua yaitu ketersediaan dan keamanan. Ketersediaan sistem berkaitan dengan kapasitas pembangkit yang cukup untuk memenuhi permintaan beban. Sedangkan keamanan sistem berkaitan dengan kemampuan sistem tenaga listrik untuk merespon setiap gangguan yang terjadi di dalam sistem yang ada (Qamber, 2019).

Pada unit-unit pembangkitan sering terjadi gangguan. Untuk meminimalisir gangguan maka dilakukan perawatan secara berkala. Daya dalam sistem akan berkurang ketika beberapa unit pembangkit terjadi gangguan secara bersamaan. Hal tersebut mengakibatkan pemadaman sistem dan kehilangan beban (Lewi, 2016).

Sifat dari beban sistem yang berubah-ubah disertai dengan karakteristik beban listrik yang cenderung tumbuh seiring dengan berkembangnya teknologi maka keandalan sistem pembangkit semakin dibutuhkan agar tetap andal dalam beroperasi (Albab dan Dian, 2019).

Pada sistem pembangkit listrik, keandalan suatu unit-unit pembangkit listrik harus diperhatikan. Oleh karena itu untuk perhitungan indeks keandalan pembangkit listrik sangat penting untuk menjamin ketersediaan daya. *Loss of Load Probability* adalah metode yang digunakan untuk menghitung indeks keandalan (Akbar, 2019).

Adapun beberapa penelitian sebelumnya yang telah dilakukan diantaranya penelitian yang pertama mengenai *Loss of Load Probability of a Power System* oleh N (2015). Penelitian yang kedua mengenai Evaluasi Keandalan Sistem Pembangkit Bili-bili oleh Lewi dkk (2016). Penelitian yang ketiga mengenai Upaya Peningkatan Indeks Keandalan Sistem Pembangkit dengan Peningkatan Kapasitas Sistem Pembangkit oleh Albab dan Dian (2019). Penelitian yang keempat mengenai *Loss of Load Probability effect on Four Power Stations* oleh Qamber (2019). Penelitian yang kelima mengenai Studi Analisa Indeks Keandalan Menggunakan Analisa Perhitungan *Expected Energy Not Supplied (EENS)* pada Pembangkit Listrik Tenaga Uap PT PJB UP Gresik oleh Akbar dkk (2019). Dari beberapa penelitian sebelumnya, penelitian ini memiliki kebaruan yaitu perhitungan nilai *LOLP* menggunakan model matematis *Discrete Distribution* dan *Cholesky Decomposition*.

Berdasarkan uraian di atas, penelitian ini memiliki tujuan menghitung nilai *Loss Of Load Probability (LOLP)* pada PLTG PT Pertamina EP Asset IV Field Sukowati menggunakan perhitungan *Discrete Distribution* dan *Cholesky Decomposition*.

### Pembangkit Listrik Tenaga Gas (PLTG)

PLTG merupakan pembangkit listrik yang memanfaatkan bahan bakar gas untuk menggerakkan turbin (Marsudi, 2011). Turbin gas adalah alat pengubah energi kimia yang terkandung dalam gas menjadi energi kinetik dengan cara

memutar poros turbin gas. Generator digunakan untuk mengubah putaran poros turbin gas menjadi energi listrik (Moreira, 2012).

Prinsip kerja PLTG yaitu memanfaatkan tekanan aliran udara untuk memutar turbin. Aliran udara dinaikkan tekanannya menggunakan kompresor selanjutnya dibakar di ruang pembakaran menggunakan bahan bakar gas. Udara yang bertekanan tinggi mengalir melalui turbin dan memutar generator, sehingga dapat membangkitkan energi listrik (Marsudi, 2011).

### Keandalan Sistem Pembangkit

Keandalan merupakan kemungkinan sistem bekerja sesuai fungsi dalam kondisi operasi dan periode waktu tertentu. Terdapat dua aspek pada keandalan sistem pembangkit, yaitu sistem kecukupan dan sistem keamanan. Sistem kecukupan diperlukan untuk memenuhi kebutuhan sistem, sedangkan sistem keamanan diperlukan untuk mengamankan sistem jika terjadi kegagalan (Qamber, 2019).

Gangguan sistem pembangkit terjadi ketika pembangkit tidak dapat melakukan fungsi yang sebenarnya. Gangguan paksa dan gangguan terencana merupakan gangguan sistem pembangkit (Budiman, 2016).

Konsep keandalan terdapat istilah ketersediaan (*availability*) dan ketidakterediaan (*unavailability*). Kedua konsep tersebut adalah hasil pengamatan terhadap kondisi operasi sistem tenaga pada waktu tertentu. Faktor-faktor yang berhubungan dengan keandalan seperti probabilitas, periode waktu, kondisi operasi dan unjuk kerja (Anas, 2019).

### Teori Umum Probabilitas

Probabilitas individu adalah penggabungan probabilitas masing-masing kapasitas pembangkit sesuai hasil kombinasi yang diperoleh dengan memanfaatkan nilai *FOR* setiap unit. Probabilitas individu digunakan untuk mencari probabilitas kumulatif. Terdapat persamaan dari probabilitas individu sebagai berikut.

$$PI = 1 - FOR_n \quad (1)$$

Keterangan :

$FOR_n$  = Force outage rate ke-n

Probabilitas kumulatif merupakan suatu kemungkinan terjadinya *FOR* dengan energi tertentu atau lebih. Terdapat persamaan dari probabilitas kumulatif sebagai berikut.

$$P(X) = \sum_{i=1}^n P_i P'(X - C_i) \quad (2)$$

Keterangan :

$P(X)$  = Probabilitas kumulatif dari kondisi *capacity outage* sebesar  $X$  MW sesudah unit ditambahkan

$n$  = Banyaknya kondisi dari unit

$C_i$  = *Capacity outage* dari kondisi  $i$  untuk unit yang ditambahkan

$P_i$  = Probabilitas kondisi  $i$  dari unit yang beroperasi

$$\sum_n p(X = x_n) = 1 \quad (4)$$

Sedangkan *CDF* berfungsi untuk menghitung jumlah dari semua nilai fungsi probabilitas yang lebih kecil atau sama dengan suatu nilai yang ditetapkan dengan memiliki persamaan sebagai berikut.

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

### Loss of Load Probability (LOLP)

*LOLP* adalah indeks keandalan yang mempertimbangkan peluang suatu pembangkit saat beban sistem melebihi kapasitas pembangkit yang tersedia (Apriani, 2015). Dengan indeks *LOLP*, maka perusahaan dapat membuat target untuk mengetahui kemampuan pembangkit pada tahun mendatang, apakah pembangkit tersebut dapat memenuhi beban atau tidak. *LOLP* yang tinggi menunjukkan indeks keandalan pembangkit yang rendah sedangkan jika *LOLP* yang rendah menunjukkan indeks keandalan pembangkit yang tinggi (Kurniawan, 2015).

Indeks keandalan *LOLP* dinyatakan dalam hari per tahun. Angka ini menunjukkan jumlah hari yang mungkin terjadi pertahunnya, dimana kapasitas gangguan suatu sistem akan sama atau lebih besar dari kapasitas cadangan sistem. Oleh karena itu, nilai kemungkinan kehilangan beban adalah risiko tahunan yang dihadapi sistem pembangkit dalam melayani permintaan beban (N, 2015). Kriteria keandalan *LOLP* lebih kecil dari 0.274% atau setara dengan probability padam 1 hari dalam setahun (PT PLN, 2018). *LOLP* memiliki persamaan sebagai berikut.

$$LOLP = \sum_{t=1}^{t=365} P \times t \quad (3)$$

Keterangan :

$P$  = Probabilitas kumulatif

$t$  = Lamanya garis yang memotong kurva lama beban dari sistem

### Cholesky Decomposition

*Cholesky Decomposition* adalah penguraian matriks Hermitan, berdefinisi positif menjadi matriks segitiga bawah dan transpos konjugasi, yang berguna untuk efisiensi solusi numerik. *Cholesky Decomposition* berfungsi untuk penyelesaian persamaan linier simultan yang didapat dari perhitungan matematika berdasarkan unsur koefisien variabel yang simetris. *Cholesky Decomposition* lebih efisien daripada *LU Decomposition* untuk menyelesaikan sistem persamaan linier (Kartono, 2002).

*Input* dari *Cholesky Decomposition* yaitu probabilitas kumulatif dan kurva lama beban. Sedangkan *output* dari perhitungan ini yaitu nilai *LOLP*.

*Cholesky Decomposition* dapat diterapkan pada matriks simetris dan definit positif. Matriks nonsingular  $A_{n \times n}$  dapat difaktorkan menjadi  $L^T L$  yang merupakan definit positif. Jika  $A$  definit positif, maka  $A$  dapat difaktorkan menjadi

$$A = LL^T \quad (6)$$

$L$  merupakan matriks segitiga bawah bila jumlah elemen diagonal dari matriks  $L$  positif. Persamaan *Cholesky Decomposition* adalah sebagai berikut.

$$\begin{bmatrix} a_{11} & a_{12} & a_{13} \\ a_{21} & a_{22} & a_{23} \\ a_{31} & a_{32} & a_{33} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} l_{11} & 0 & 0 \\ l_{21} & l_{22} & 0 \\ l_{31} & a_{32} & a_{33} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} l_{11} & l_{12} & l_{13} \\ 0 & l_{22} & l_{23} \\ 0 & 0 & l_{33} \end{bmatrix} \quad (7)$$

### Discrete Distribution

*Discrete Distribution* adalah distribusi probabilitas terjadinya setiap nilai variabel acak diskrit. Variabel acak diskrit merupakan variabel yang memiliki nilai acak yang didapat dari data percobaan. Jumlah fungsi variabel acak diskrit memiliki nilai sama dengan satu (Ross, 2010).

*Input* dari *Discrete Distribution* yaitu nilai *FOR* tiap pembangkit. Sedangkan *output* dari perhitungan ini yaitu probabilitas tiap pembangkit dan probabilitas kumulatif.

Pada *Discrete Distribution* terdapat dua fungsi, yaitu *Probability Density Function (PDF)* dan *Cummulative Distribution Function (CDF)*. *PDF* berfungsi untuk menghitung jumlah peluang semua kejadian dengan persamaan sebagai berikut.

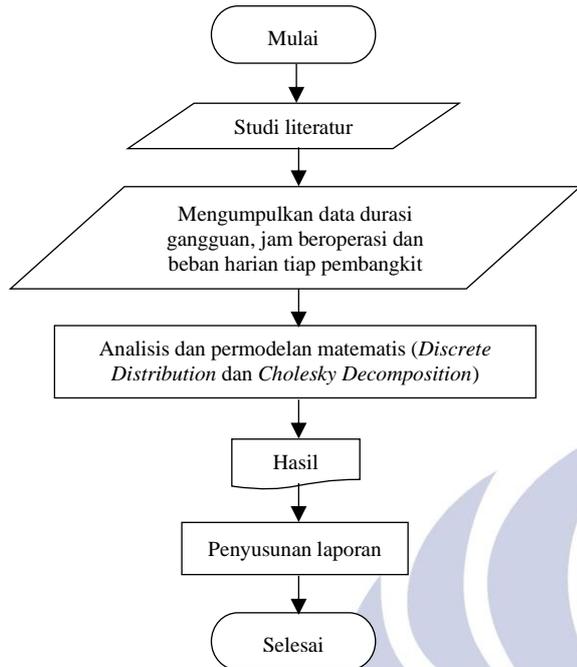
### METODE

#### Pendekatan Penelitian

Pada penelitian ini menggunakan pendekatan kuantitatif karena pada pengumpulan data, penafsiran terhadap data, serta hasil dari penelitian ini berupa angka. Variabel penelitian kuantitatif dapat ditentukan serta hubungan antar variabel dapat diukur. Penelitian kuantitatif bertujuan untuk merangkum hasil penelitian agar dapat digunakan untuk memprediksi kondisi yang sama pada populasi yang berbeda (Abdullah, 2015). Pada penelitian ini menggunakan perhitungan *Discrete Distribution* dan *Cholesky Decomposition* untuk menghitung nilai *Loss of Load Probability (LOLP)*.

**Rancangan Penelitian**

Tahapan rancangan penelitian ini ditunjukkan dalam *flowchart* sebagai berikut.



Gambar 1. *Flowchart* tahapan penelitian

Penjelasan *flowchart* tahapan penelitian adalah sebagai berikut. Studi literatur dilakukan dengan mempelajari dari beberapa jurnal dan buku mengenai indeks keandalan, perhitungan *Discrete Distribution*, perhitungan *Cholesky Decomposition* serta informasi dan referensi lain yang relevan dengan penelitian ini. Selanjutnya melakukan pengumpulan data berupa durasi gangguan, jam beroperasi dan beban harian tiap pembangkit yang didapat pada lapangan. Selanjutnya melakukan analisis data menggunakan perhitungan *Discrete Distribution* dan *Cholesky Decomposition* dengan data yang sudah diperoleh dari lapangan. Hasil dari analisis dan permodelan matematis yaitu nilai LOLP. Selanjutnya melakukan penyusunan laporan akhir penelitian.

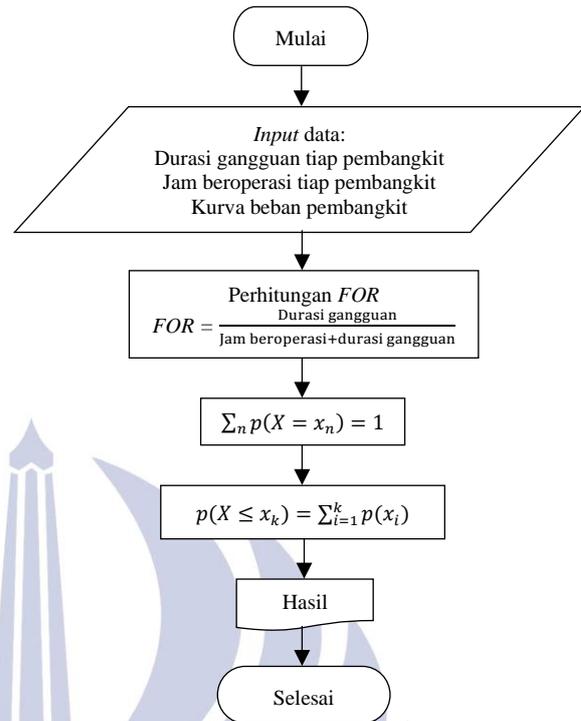
**Teknik Pengumpulan Data**

Proses pengumpulan data-data yang mendukung penyelesaian penelitian diperoleh dari PT Pertamina EP Asset IV Field Sukowati. Data yang diperoleh meliputi durasi gangguan tiap pembangkit, jam beroperasi tiap pembangkit dan beban harian tiap pembangkit.

**Teknik Analisis Data**

Pada tahap proses analisis data, penulis melakukan pengolahan data yang sudah dikumpulkan menggunakan dua analisis perhitungan yaitu *Discrete Distribution* dan *Cholesky Decomposition* yang dijelaskan sebagai berikut.

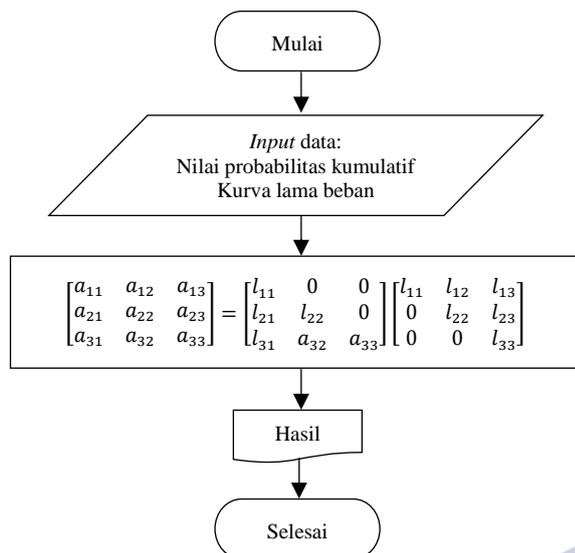
Tahapan analisis perhitungan *Discrete Distribution* ditunjukkan dalam *flowchart* sebagai berikut.



Gambar 2. *Flowchart* perhitungan *Discrete Distribution*

Penjelasan *flowchart* analisis perhitungan *Discrete Distribution* adalah sebagai berikut. *Input* data durasi gangguan tiap pembangkit (jam), jam beroperasi tiap pembangkit (jam) dan kurva beban pembangkit (kW) selama satu tahun. Selanjutnya menghitung *Forced Outage Rate (FOR)* tiap pembangkit. Setelah mendapat nilai *FOR* tiap pembangkit, selanjutnya mencari nilai probabilitas menggunakan rumus *Probability Density Function (PDF)* pada perhitungan *Discrete Distribution*. Hasil dari fungsi tersebut dimasukkan dalam rumus *Cummulative Distribution Function (CDF)* pada perhitungan *Discrete Distribution*. *Output* dari rumus *Probability Density Function (PDF)* pada perhitungan *Discrete Distribution* yaitu nilai probabilitas, sedangkan *output* dari rumus *Cummulative Distribution Function (CDF)* pada perhitungan *Discrete Distribution* yaitu nilai probabilitas kumulatif.

Tahapan analisis perhitungan *Cholesky Decomposition* ditunjukkan dalam *flowchart* sebagai berikut.



Gambar 3. Flowchart perhitungan Cholesky Decomposition

Penjelasan flowchart analisis perhitungan Cholesky Decomposition adalah sebagai berikut. Input data nilai probabilitas kumulatif dan kurva lama beban. Data tersebut dimasukkan dalam rumus Cholesky Decomposition. Output dari perhitungan Cholesky Decomposition yaitu nilai LOLP.

### HASIL DAN PEMBAHASAN

#### Daya Terpasang pada PLTG PT Pertamina EP Asset IV Field Sukowati

Daya terpasang pada PLTG PT Pertamina EP Asset IV Field Sukowati ditunjukkan dalam tabel sebagai berikut.

Tabel 1. Daya kapasitas daya terpasang tiap unit

Unit	Daya Terpasang (kW)	Daya Mampu (kW)
TG-101 A	800	600
TG-101 B	800	600
TG-101 C	800	600
TG-101 D	800	600
Total	3200	2400

Berdasarkan tabel di atas, maka perhitungan untuk mendapatkan kombinasi probabilitas dari 4 unit pembangkit adalah sebagai berikut.

$$\begin{aligned} \text{Banyaknya kombinasi} &= 2^n \\ &= 2^4 \\ &= 16 \text{ kombinasi} \end{aligned} \quad (8)$$

#### Perhitungan FOR (Forced Outage Rate)

Nilai FOR harus dihitung terlebih dahulu sebelum mencari nilai probabilitas individu. Perhitungan FOR memiliki persamaan sebagai berikut.

$$FOR_n = \frac{\text{Jumlah Jam Gangguan Unit}}{\text{Jumlah Jam Operasi Unit} + \text{Jumlah Jam Gangguan Unit}} \quad (9)$$

Berikut terdapat data lama gangguan di setiap unit pembangkit PLTG PT Pertamina EP Asset IV Field Sukowati.

Tabel 2. Durasi gangguan tahun 2020

Unit	Bulan						Durasi (menit)
	1	2	3	4	5	6	
TG-101 A	73	0	0	122	0	0	195
TG-101 B	0	0	0	75	95	0	170
TG-101 C	67	0	71	0	0	0	138
TG-101 D	0	97	61	0	0	0	158

Unit	Bulan						Durasi (menit)
	7	8	9	10	11	12	
TG-101 A	0	161	0	0	0	0	161
TG-101 B	0	0	0	83	0	0	83
TG-101 C	63	0	0	0	79	114	256
TG-101 D	0	0	80	0	0	0	80

Berdasarkan data durasi gangguan yang tercantum pada tabel di atas, maka nilai FOR dapat dihitung menggunakan persamaan 9 sebagai berikut.

$$FOR \text{ unit TG-101 A} = FOR_1$$

$$FOR_1 = \frac{\frac{356}{60}}{24 + \frac{356}{60}} = \frac{5,933}{29,933} = 0,1982$$

$$FOR \text{ unit TG-101 B} = FOR_2$$

$$FOR_2 = \frac{\frac{253}{60}}{24 + \frac{253}{60}} = \frac{4,217}{28,217} = 0,07857$$

$$FOR \text{ unit TG-101 C} = FOR_3$$

$$FOR_3 = \frac{\frac{394}{60}}{24 + \frac{394}{60}} = \frac{6,567}{30,567} = 0,21484$$

$$FOR \text{ unit TG-101 D} = FOR_4$$

$$FOR_4 = \frac{\frac{238}{60}}{24 + \frac{238}{60}} = \frac{3,967}{27,967} = 0,14184$$

Berdasarkan perhitungan di atas dapat diringkas dalam bentuk tabel berikut.

Tabel 3. Data FOR unit pembangkit

Unit	FOR
TG-101 A	$FOR_1 = 0,1982$
TG-101 B	$FOR_2 = 0,07857$
TG-101 C	$FOR_3 = 0,21484$
TG-101 D	$FOR_4 = 0,14184$

#### Perhitungan Probabilitas Individu

Dalam menghitung probabilitas individu yaitu menentukan kemungkinan kapasitas daya pembangkit yang beroperasi dan yang mengalami forced outage sesuai hasil kombinasi yang didapat dengan memanfaatkan nilai

FOR setiap unit pada perhitungan sebelumnya. Perhitungan probabilitas individu ditunjukkan pada tabel berikut ini.

Tabel 4. Probabilitas individu

Unit	Unit In	Unit Out	Kapasitas diluar perbaikan (kW)	Kapasitas dalam perbaikan (kW)	Probabilitas
TG-101 A	1	0	800	0	0,8018
	0	1	0	800	0,1982
Σ					1
TG-101 B	1	0	800	0	0,92143
	0	1	0	800	0,07857
Σ					1
TG-101 C	1	0	800	0	0,78516
	0	1	0	800	0,21484
Σ					1
TG-101 D		0	800	0	0,85816
		1	0	800	0,14184
Σ					1

**Perhitungan Probabilitas Tiap Kombinasi Menggunakan Perhitungan Discrete Distribution**

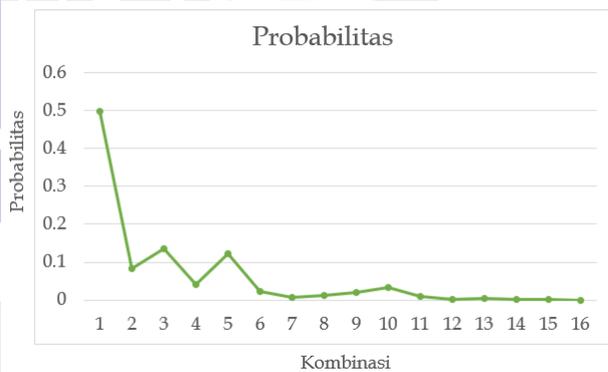
Setelah melakukan perhitungan probabilitas individu, selanjutnya yaitu mencari nilai probabilitas tiap kombinasi menggunakan rumus Probability Density Function (PDF) pada perhitungan Discrete Distribution. Perhitungan probabilitas tiap kombinasi diperoleh dari gabungan 4 unit yang menghasilkan 16 kombinasi. Berikut terdapat perhitungan probabilitas tiap kombinasi menggunakan perhitungan Discrete Distribution.

Gambar 4. Perhitungan probabilitas tiap kombinasi menggunakan perhitungan Discrete Distribution. Dari perhitungan tersebut, maka didapatkan nilai probabilitas tiap kombinasi seperti pada tabel berikut.

Tabel 5. Probabilitas tiap kombinasi

Unit				Kapasitas dalam perbaikan (kW)	Kapasitas diluar perbaikan (kW)	Probabilitas
TG-101 A	TG-101 B	TG-101 C	TG-101 D			
1	1	1	1	0	3200	0,4978
1	1	1	0	800	2400	0,082278
1	1	0	1	800	2400	0,136211
1	0	1	1	800	2400	0,042447
0	1	1	1	800	2400	0,123053
1	1	0	0	1600	1600	0,022513
1	0	1	0	1600	1600	0,007016
1	0	0	1	1600	1600	0,011615
0	1	1	0	1600	1600	0,020339
0	1	0	1	1600	1600	0,03367
0	0	1	1	1600	1600	0,010493
1	0	0	0	2400	800	0,00192
0	1	0	0	2400	800	0,005565
0	0	1	0	2400	800	0,001734
0	0	0	1	2400	800	0,002871
0	0	0	0	3200	0	0,000475
Σ						1

Dari tabel di atas, nilai probabilitas dapat digambarkan sebagai grafik pada gambar di bawah ini.



Gambar 5. Grafik probabilitas tiap kombinasi

PERHITUNGAN NILAI LOSS OF LOAD PROBABILITY (LOLP) PADA PLTG PT PERTAMINA EP ASSET IV FIELD SUKOWATI MENGGUNAKAN PERHITUNGAN DISCRETE DISTRIBUTION DAN CHOLESKY DECOMPOSITION

PERHITUNGAN DISCRETE DISTRIBUTION

Perhitungan Probabilitas Tiap Kombinasi

Unit 1 Unit 2 Unit 3 Unit 4

Beroperasi Tidak Beroperasi Beroperasi Tidak Beroperasi Beroperasi Tidak Beroperasi Beroperasi Tidak Beroperasi

Hitung Probabilitas

0.497800

Perhitungan Probabilitas Kumulatif

Nomor	Kapasitas Dalam Perbaikan (kW)	Kapasitas Dalam Perbaikan (kW)
1	0	3200
2	800	2400
3	1600	1600
4	2400	800
5	3200	0

Hitung Prob. Kumulatif

PERHITUNGAN CHOLESKY DECOMPOSITION

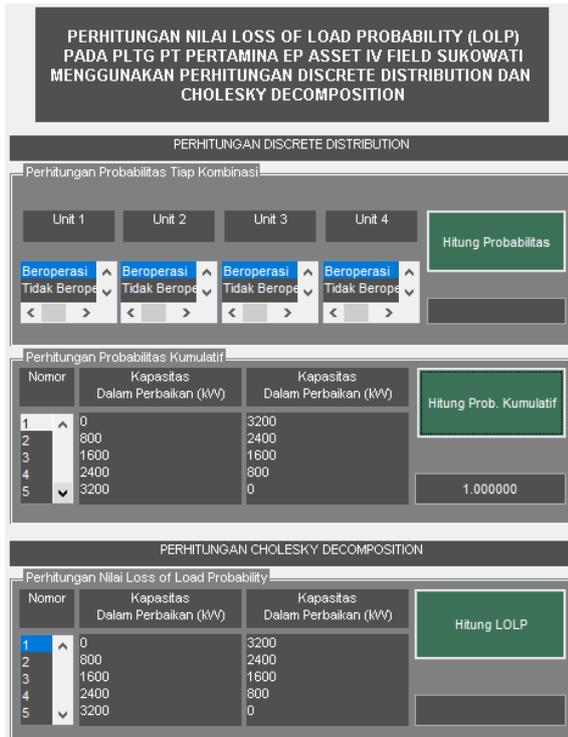
Perhitungan Nilai Loss of Load Probability

Nomor	Kapasitas Dalam Perbaikan (kW)	Kapasitas Dalam Perbaikan (kW)
1	0	3200
2	800	2400
3	1600	1600
4	2400	800
5	3200	0

Hitung LOLP

**Perhitungan Probabilitas Kumulatif Menggunakan Discrete Distribution**

Setelah melakukan perhitungan probabilitas tiap kombinasi, selanjutnya yaitu mencari nilai probabilitas kumulatif menggunakan rumus Cumulative Distribution Function (CDF) pada perhitungan Discrete Distribution. Berikut terdapat perhitungan probabilitas kumulatif menggunakan perhitungan Discrete Distribution.



Gambar 6. Perhitungan probabilitas kumulatif menggunakan perhitungan *Discrete Distribution*

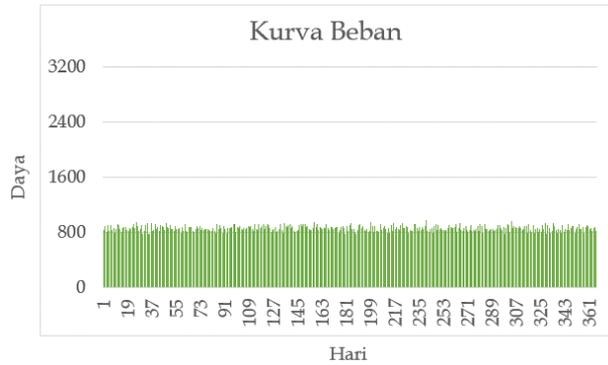
Dari perhitungan tersebut, maka didapatkan nilai probabilitas kumulatif yang ditunjukkan pada tabel berikut.

Tabel 6. Probabilitas kumulatif

Kapasitas dalam perbaikan (kW)	Kapasitas diluar perbaikan (kW)	Probabilitas	Probabilitas Kumulatif
0	3200	0,4978	1
800	2400	0,383989	0,5022
1600	1600	0,105646	0,118211
2400	800	0,01209	0,012565
3200	0	0,000475	0,000475

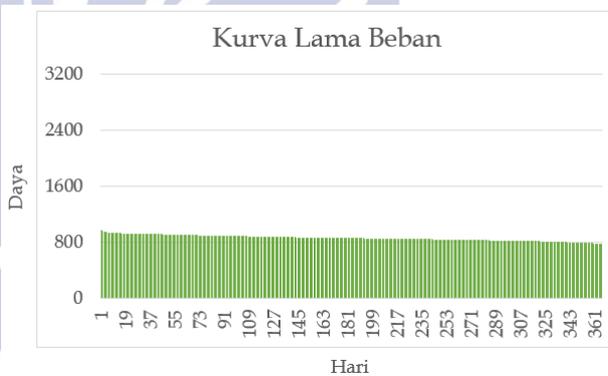
### Kurva Beban

Kurva beban merupakan kurva yang menggambarkan penggunaan beban (listrik) pada interval waktu. Data yang diambil pada penelitian ini selama satu tahun atau 365 hari. Grafik kurva beban PLTG PT Pertamina EP Asset IV Field Sukowati ditunjukkan pada gambar berikut.



Gambar 7. Kurva beban harian dalam satu tahun PT Pertamina EP Asset IV Field Sukowati tahun 2020

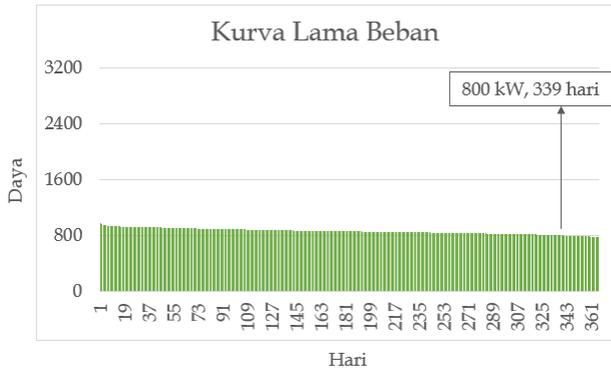
Untuk menghitung nilai *LOLP*, kurva beban yang diperoleh dari *Daily Log Sheet* PT Pertamina EP Asset IV Field Sukowati pada gambar 7 harus diubah menjadi kurva lama beban. Kurva lama beban adalah besarnya nilai beban yang diurutkan dari hari ke-1 hingga hari ke-365 dalam urutan menurun atau dari nilai beban maksimum ke nilai beban minimum dalam durasi waktu yang sama. Grafik kurva lama beban PLTG PT Pertamina EP Asset IV Field Sukowati ditunjukkan pada gambar di bawah ini.



Gambar 8. Kurva lama beban PT Pertamina EP Asset IV Field Sukowati tahun 2020

### *Loss of Load Probability (LOLP) Menggunakan Cholesky Decomposition*

Nilai *LOLP* didapatkan dari perkalian antara probabilitas kumulatif kapasitas dalam perbaikan (kW) sistem 4 unit pembangkit dengan interval titik potong kurva lama beban yang dinyatakan dalam hari per tahun ( $t$ ). Nilai  $t$  ditunjukkan pada gambar di bawah ini.



Gambar 9. Perpotongan kurva lama beban dengan nilai t

LOLP diperoleh dari hasil perkalian antara probabilitas kumulatif kapasitas sistem dengan nilai waktu yang didapatkan pada gambar 9. Contoh perhitungan LOLP adalah sebagai berikut.

$$LOLP = \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0.5022 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0.118211 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0.012565 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0.000475 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 339 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \end{pmatrix}$$

$$LOLP = \begin{pmatrix} 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 4.259535 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \end{pmatrix}$$

Berikut terdapat perhitungan LOLP menggunakan perhitungan Cholesky Decomposition.

Dari perhitungan tersebut, maka didapatkan nilai LOLP yang ditunjukkan pada tabel di bawah ini.

Tabel 7. Hasil perhitungan LOLP

Kapasitas dalam perbaikan (kW)	Kapasitas diluar perbaikan (kW)	Probabilitas Kumulatif	t	LOLP (Hari/tahun)
0	3200	1	0	0
800	2400	0,5022	0	0
1600	1600	0,118211	0	0
2400	800	0,012565	339	4,259535
3200	0	0,000475	0	0
Jumlah				4,259535

Perhitungan nilai LOLP di PLTG PT Pertamina EP Asset IV Field Sukowati dengan sistem 4 unit pembangkit menghasilkan nilai total sebesar 4,259535 hari/tahun pada tahun 2020. Nilai tersebut belum memenuhi standar yang sudah ditetapkan PT PLN (Persero) pada RUPTL PLN 2018-2027 yaitu sebesar 1 hari/tahun. Berdasarkan hal tersebut dapat dikatakan bahwa keandalan sistem pembangkit di PLTG PT Pertamina EP Asset IV Field Sukowati pada tahun 2020 dalam kategori kurang andal.

**Perbandingan nilai LOLP Menggunakan Perhitungan Discrete Distribution dan Cholesky Decomposition dengan Perhitungan Konvensional**

Hasil dari perhitungan nilai LOLP yang didapat dari perhitungan Discrete Distribution dan Cholesky Decomposition dilakukan perbandingan dengan perhitungan konvensional.

Tabel 8. Perbandingan menggunakan perhitungan Discrete Distribution dan Cholesky Decomposition dengan perhitungan konvensional

Kapasitas dalam perbaikan (kW)	Kapasitas diluar perbaikan (kW)	Probabilitas Perhitungan DD-CD	Probabilitas Perhitungan Konvensional
0	3200	0,4978	0,4978
800	2400	0,082278	0,0823
800	2400	0,136211	0,1362
800	2400	0,042447	0,0424
800	2400	0,123053	0,123
1600	1600	0,022513	0,0225
1600	1600	0,007016	0,007
1600	1600	0,011615	0,0116
1600	1600	0,020339	0,0203
1600	1600	0,03367	0,0337
1600	1600	0,010493	0,0105
2400	800	0,00192	0,0019
2400	800	0,005565	0,0056
2400	800	0,001734	0,0017
2400	800	0,002871	0,0029
3200	0	0,000475	0,0005
Jumlah probabilitas		1	0,9999
LOLP		4,259535	4,2714

PERHITUNGAN NILAI LOSS OF LOAD PROBABILITY (LOLP) PADA PLTG PT PERTAMINA EP ASSET IV FIELD SUKOWATI MENGGUNAKAN PERHITUNGAN DISCRETE DISTRIBUTION DAN CHOLESKY DECOMPOSITION

PERHITUNGAN DISCRETE DISTRIBUTION

Perhitungan Probabilitas Tiap Kombinasi

Unit 1: Beroperasi / Tidak Beroperasi  
Unit 2: Beroperasi / Tidak Beroperasi  
Unit 3: Beroperasi / Tidak Beroperasi  
Unit 4: Beroperasi / Tidak Beroperasi

Perhitungan Probabilitas Kumulatif

Nomor	Kapasitas Dalam Perbaikan (kW)	Kapasitas Dalam Perbaikan (kW)
1	0	3200
2	800	2400
3	1600	1600
4	2400	800
5	3200	0

PERHITUNGAN CHOLESKY DECOMPOSITION

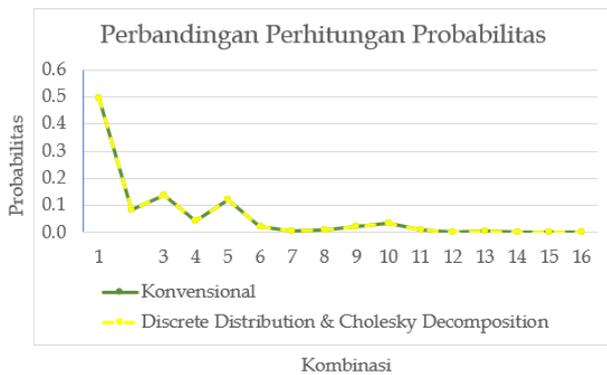
Perhitungan Nilai Loss of Load Probability

Nomor	Kapasitas Dalam Perbaikan (kW)	Kapasitas Dalam Perbaikan (kW)
1	0	3200
2	800	2400
3	1600	1600
4	2400	800
5	3200	0

0.000000

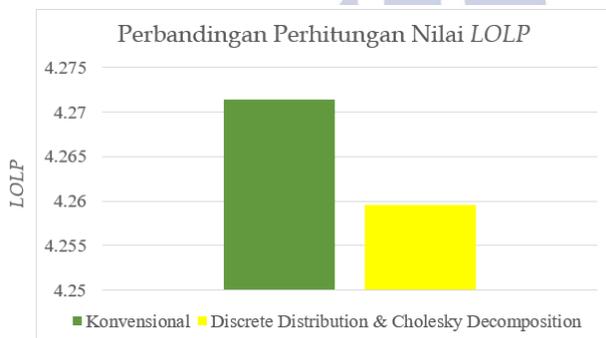
Gambar 10. Perhitungan LOLP menggunakan perhitungan Cholesky Decomposition

Dari tabel di atas didapatkan grafik perbandingan perhitungan probabilitas seperti berikut.



Gambar 11. Grafik perbandingan perhitungan probabilitas

Sedangkan grafik perbandingan perhitungan nilai LOLP seperti berikut.



Gambar 12. Grafik perbandingan perhitungan nilai LOLP

Dari tabel dan grafik perbandingan menggunakan perhitungan konvensional dengan perhitungan *Discrete Distribution* dan *Cholesky Decomposition* didapatkan selisih nilai probabilitas sebesar 0,0001 dan selisih nilai LOLP sebesar 0,011865.

## PENUTUP

### Simpulan

Berdasarkan perhitungan dan analisis yang telah peneliti lakukan, maka dapat ditarik simpulan yaitu pada PLTG PT Pertamina EP Asset IV Field Sukowati didapatkan nilai LOLP sebesar 4,259535 hari/tahun. Sedangkan standar yang ditetapkan PT PLN (Persero) pada RUPTL PLN 2018-2027 sebesar 1 hari/tahun, maka dapat dikatakan indeks keandalan pembangkit di PLTG PT Pertamina EP Asset IV Field Sukowati pada tahun 2020 dalam kategori kurang andal.

## Saran

Berdasarkan hasil penelitian yang sudah dilakukan sebelumnya, Penulis memberikan saran yaitu nilai LOLP pada PLTG PT Pertamina EP Asset IV Field Sukowati dapat sesuai dengan standar PT PLN (Persero), salah satunya yaitu dengan penambahan kapasitas efektif pembangkit dengan mempertimbangkan peramalan beban di masa mendatang.

## DAFTAR PUSTAKA

- Abdullah, Ma'ruf. 2015. *Metode Penelitian Kuantitatif*. Sleman: Aswaja Pressindo.
- Akbar, Rizky Maulana. 2019. *Studi Analisa Indeks Keandalan dengan menggunakan Analisa Perhitungan Expected Energy Not Supplied (EENS) pada Pembangkit Listrik Tenaga Uap (PLTU) PT PJB UP Gresik*. Malang: Universitas Muhammadiyah Malang.
- Albab, Ulil dan Dian Y. S. 2019. Upaya Peningkatan Indeks Keandalan Sistem Pembangkit dengan Peningkatan Kapasitas Sistem Pembangkit. *JOM Fakultas Teknik*. Vol. 6 (2): hal 1-6.
- Anas, Anwar Khoirul. 2019. *Studi Keandalan Ketersediaan Daya Pembangkit Listrik di Wilayah Jateng dan DIY*. Magelang: Universitas Tidar.
- Apriani, Rina dan Rudyanto T. 2015. Perhitungan Loss of Load Probability (Probabilitas Kehilangan Beban) Sistem Tenaga Listrik di PT Pupuk Sriwijaya. *Jurnal Mikrotiga*. Vol. 2 (1): hal 22-27.
- Budiman, Frans. 2016. *Evaluasi Keandalan pada Sistem 150 kV di Wilayah Jawa Timur dengan menggunakan Metoda Cumulant*. Surabaya: Institut Teknologi Sepuluh Nopember.
- Kartono. 2002. *Aljabar Linear, Vektor dan Eksplorasinya dengan Maple*. Yogyakarta: Graha Ilmu.
- Kurniawan, Yulius Indhra. 2015. Loss of Load Probability (LOLP) Index untuk Menganalisis Keandalan Pembangkit Listrik. *Jurnal Biostatistics*. Vol 9 (2): hal 7-12.
- Lewi, Sonong, Peri P dan Yerin P. 2016. Evaluasi Keandalan Sistem Pembangkit Bili-bili. *Jurnal Sinergi*. Vol. 14 (1): hal 28-37.
- Marsudi, Djiteng. 2011. *Pembangkit Energi Listrik*. Jakarta: Erlangga.

Moreira, J. R. S. 2012. *Fundamentals of Thermodynamics Applied to Thermal Power Plant*. London: G. F. M. De Souza.

N, Vijayamohanan Pillai. 2015. Loss of Load Probability of a Power System. *Journal of Fundamentals of Renewable Energy and Applications*. Vol. 5 (1): hal 1-9.

PT PLN (Persero). 2018. *Rencana Usaha Penyediaan Tenaga Listrik 2018-2027*. Jakarta: PT PLN (Persero).

Qamber, Isa S. 2019. *Loss of Load Probability Effect on Four Power Stations*. International Conference on Fourth Industrial Revolution. Shakhier: University of Bahrain.

Ross, Sheldon M. 2010. *Introduction to Probability Models 10th Edition*. Los Angeles: Elsevier.

