

# STUDI KEANDALAN PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA DIESEL (PLTD) SUKAHARJA KABUPATEN KETAPANG

Adrianus Cekum<sup>1)</sup>, Junaidi<sup>2)</sup>, Purwoharjono<sup>3)</sup>  
Program Studi Elektro Fakultas Teknik Universitas Tanjungpura  
e-mail: [adrianuscekum12@gmail.com](mailto:adrianuscekum12@gmail.com)

Penelitian ini adalah untuk mengetahui indeks keandalan pembangkit milik PLN yaitu unit PLTD Sukaharja dan PLTU Sukabangun di area Ketapang. Unit pembangkit terdiri dari 6 unit pembangkit diesel dengan daya mampu sebesar 10,15 MW dan 2 unit pembangkit uap dengan daya mampu 20 MW. Masalah dalam penelitian ini adalah seberapa besar tingkat keandalan pembangkit sistem kelistrikan di area Ketapang khususnya PLTD Sukaharja dan PLTU Sukabangun. Perhitungan dilakukan dengan menggunakan nilai indeks LOLP ( *Loss Of Load Probability* ) untuk masing – masing unit pembangkit bekerja terpisah dan paralel dan nilai indeks LOEE ( *Loss Of Energy Expectation* ) untuk unit pembangkit PLTD Sukaharja. Metode yang digunakan dalam penelitian ini adalah pengolahan data sekunder yang diperoleh dari PT. PLN ( Persero) Area Ketapang. Berdasarkan analisa tentang indeks keandalan kehilangan beban yang terdapat di unit pembangkit PLTD Sukaharja pada kondisi beban puncak sebesar 9,758 MW adalah 8,428446 hari per tahun, PLTU Sukabangun pada kondisi beban puncak sebesar 16,740 MW adalah 14,754702 hari per tahun, kerja paralel unit PLTD Sukaharja dan unit Pembangkit PLTU Sukabangun pada kondisi beban puncak sebesar 26,498 MW adalah 9,444635 hari pertahun dan indeks keandalan kehilangan energi unit pembangkit PLTD Sukaharja sebesar 3,601786039 MWh dan nilai indeks harapan kehilangan energi sebesar 0,977211. Menggunakan aturan baku SPLN : 68-1A : 1986 yaitu sebesar 5 hari untuk indeks kehilangan energi dan standart penentuan keandalan EIR pada penulisan ini yaitu  $0,85 \leq EIR \leq 1$  maka untuk kondisi indeks kehilangan beban di PLTD Sukaharja, PLTU sukabangun dan kerja paralel unit PLTD Sukaharja dan unit PLTU Sukabangun dapat dikatakan tidak andal serta kondisi indeks kehilangan energi unit PLTD Sukaharja dapat dikatakan andal.

**Kata kunci :** Keandalan Pembangkit, LOLP, LOEE,

## I. Pendahuluan

Kelistrikan Ketapang PT. PLN (Persero) Rayon Ketapang Kota milik PT. PLN terdiri dari dua sumber daya listrik yaitu PLTD Sukaharja dan PLTU Sukabangun dengan total daya mampu sebesar 30,15 MW. Kondisi Kelistrikan Ketapang masih dapat melayani beban, namun sering terjadi gangguan khususnya PLTD Sukaharja dengan total jam gangguan dalam satu tahun sebesar 438 jam/pertahun dan menyebabkan pemadaman bergilir.

Melihat kondisi kelistrikan tersebut, maka perlu adanya elavulasi keandalan pada sisi sistem pembangkit listrik yang melayani beban selama ini sehingga dapat diketahui kekurangan-kekurangan yang ada. Didalam penelitian ini, untuk mengetahui tingkat keandalan pembangkit PLTD Sukaharja dan pengaruh PLTU Sukabangun pada saat operasi bersama dengan perhitungan indeks kehilangan beban atau *Loss Of Load*

*Probability* yang digambarkan dalam jam atau hari, serta indeks kehilangan energi atau *Loss Of Energy Expectation* pembangkit PLTD Sukaharja selama periode pengamatan.

## II. Dasar Teori

### 2.1 Konsep Keandalan

Sebuah sistem tenaga listrik hanyalah menunaikan sebuah fungsi yaitu menyediakan tenaga listrik bagi konsumen secara ekonomis dan handal. Ada empat faktor yang berhubungan dengan keandalan yaitu probabilitas, bekerja sesuai dengan fungsinya, periode waktu dan kondisi operasi.

Ketika suatu sistem gagal, maka unit tersebut akan keluar dari layanan selama beberapa waktu sampai diperbaiki atau diganti. Persentase waktu saat sistem melayani disebut ketersediaan sistem. Hal tersebut dapat dinyatakan dengan persamaan berikut :

$$A = \frac{\text{total jam operasi dalam 1(satu) tahun}}{8760} \quad (1)$$

$$\bar{A} = \frac{\text{total jam gagal dalam 1(satu) tahun}}{8760} \quad (2)$$

Persamaan 1 menyatakan ketersediaan (A) sedangkan untuk ketidak-tersediaan ( $\bar{A}$ ) dinyatakan dalam persamaan 2. Laju kegagalan ( $\lambda$ ) didefinisikan sebagai jumlah kegagalan yang diharapkan per unit dalam suatu interval waktu. Untuk suatu kelompok alat atau komponen, jumlah kegagalan yang diharapkan sama dengan jumlah unit dalam kelompok mengalami berapa kali kegagalan. Dalam menghitung tingkat kegagalan dari sekelompok unit, yang harus digunakan adalah total waktu operasi dan bukan waktu urutan kejadian.

## 2.2 Pelepasan Pembangkit

Pelepasan adalah keadaan dimana suatu komponen tidak dapat berfungsi sebagaimana mestinya, diakibatkan karena beberapa peristiwa yang berhubungan dengan komponen tersebut. Suatu pelepasan pembangkit dapat secara langsung atau tidak langsung menyebabkan pemadaman terhadap konsumen, tergantung Pelepasan (*Outage*) pada konfigurasi sistem dibedakan menjadi :

- 1) Pelepasan paksa (*Forced outage*) adalah pelepasan yang disebabkan oleh keadaan yang langsung mengenai sebuah komponen sehingga harus segera dinonaktifkan akibat dari kesalahan peralatan maupun kesalahan dari operator.
- 2) Pelepasan terencana (*Scheduled outage*) adalah pelepasan yang dikarenakan suatu komponen dengan sengaja tidak dioperasikan pada waktu yang ditentukan dengan tujuan pemasangan, pemeliharaan atau perbaikan.
- 3) Pelepasan paksa transien (*Transient forced outage*) adalah pelepasan yang penyebabnya bisa hilang dengan sendirinya sehingga komponen yang mengalami kegagalan dapat kembali berfungsi normal secara otomatis. Misalkan sambaran petir yang tidak menyebabkan kerusakan pada alat atau komponen.
- 4) Pelepasan paksa permanen (*permanent forced outage*) adalah pelepasan yang penyebabnya tidak bisa hilang dengan sendirinya. Biasanya alat yang

mengalami kegagalan harus segera diperbaiki atau diganti, agar sistem dapat kembali beroperasi.

Laju pelepasan paksa adalah sebuah faktor yang menggambarkan sering tidaknya sebuah unit pembangkit mengalami gangguan dalam suatu periode tertentu. Persamaan secara matematisnya adalah sebagai berikut :

$$FOR = \frac{\lambda}{\lambda + \mu} = \frac{r}{m + r} = \frac{r}{T} = \frac{f}{\mu} \quad (3)$$

Dimana :  $\lambda$  = laju kegagalan  
 $\mu$  = laju perbaikan yang diharapkan  
 $m$  = waktu rata-rata kegagalan  
 $r$  = waktu rata-rata perbaikan  
 $f$  = frekuensi =  $1/T$   
 $T$  = perioda =  $1/f$

Jika semakin kecil nilai FOR-nya, maka dapat dipastikan sebuah unit pembangkit semakin andal (jarang mengalami gangguan). Begitu juga sebaliknya, jika nilai FOR semakin besar maka unit pembangkit tersebut semakin tidak handal. Misalkan nilai FOR sebesar 0,005 maka kemungkinan (probabilitas) unit itu benar – benar beroperasi adalah  $(1 - 0,005) = 0,995$ .

## 2.3 Probabilitas Dalam Pembangkitan Tenaga Listrik

Penerapan utama dari metode probabilitas didalam sistem tenaga listrik adalah mengetahui kebutuhan kapasitas pembangkitan dalam suatu kawasan, serta tidak memerlukan teknik khusus untuk menentukan kemungkinan kapasitas pembangkit yang tersedia dengan menggambarkan kebutuhan beban dalam beberapa cara dan memberikan ukuran numerik dari probabilitas kegagalan yang diharapkan sistem untuk menyediakan listrik atau energi yang dibutuhkan dengan mendefinisikan tingkat risiko standar (kemungkinan standar atau maksimum kegagalan).

Metode yang digunakan untuk menghitung nilai probabilitas kumulatif yaitu algoritma *recursive* untuk pembentukan model kapasitas, dimana unit pembangkit ditambah satu persatu kedalam model sampai semua unit yang terlibat masuk dalam sistem. Probabilitas kapasitas setelah ada unit ke- $n$  dengan persamaannya :

$$p_n(X) = p_{n-1}(X)(1 - FOR_n) + p_{n-1}(X - C)FOR_n \quad (4)$$

Dimana :

- $p_n(X)$  = probabilitas kumulatif untuk keadaan kapasitas yang mengalami pelepasan paksa sebesar X MW setelah digabungkan unit C MW.
- $p_{n-1}(X)$  = probabilitas kumulatif untuk keadaan kapasitas yang mengalami pelepasan paksa sebesar X MW sebelum digabungkan unit C MW.
- $p_{n-1}(X - C)$  = probabilitas kumulatif untuk kapasitas yang mengalami pelepasan paksa sebesar (X - C) MW sebelum unit C MW digabungkan.
- $FOR_n$  = pelepasan paksa dari unit dengan kapasitas C MW yang ditambahkan.
- C = besarnya kapasitas unit baru ke - n,

Untuk kondisi awal :

- $p_{n-1}(X) = 1$  ; untuk  $X \leq 0$   
 $p_{n-1}(X) = 0$  ; untuk  $X > 0$   
 $p_{n-1}(X - C) = 1$  ; untuk  $X \leq C$

## 2.4 Metode Perhitungan Keandalan Pembangkit Tenaga Listrik

Cara menentukan keandalan sistem tenaga listrik dari segi pembangkitannya yaitu dengan melakukan permodelan sistem pembangkitan. Pada pemodelan keandalan sistem pembangkit dihubungkan langsung ke beban.

Dalam menghitung indeks-indeks keandalan sistem pembangkit tenaga listrik ada beberapa metode ataupun cara yang dapat digunakan untuk mengetahui apakah sistem pembangkit yang ada dapat dikategorikan andal atau tidak setelah dilakukan perhitungan sesuai dengan data-data yang ada pada sistem pembangkit. Adapun metode - metode tersebut adalah :

1. Metode kehilangan beban adalah peluang kehilangan beban (*Loss Of Load Probability, disingkat LOLP*)
2. Metode Frekuensi dan lamanya gangguan (*Frequency and Duration Method*)
3. Metode harapan kehilangan energi (*Loss Of Energy Expectation, disingkat LOEE*).

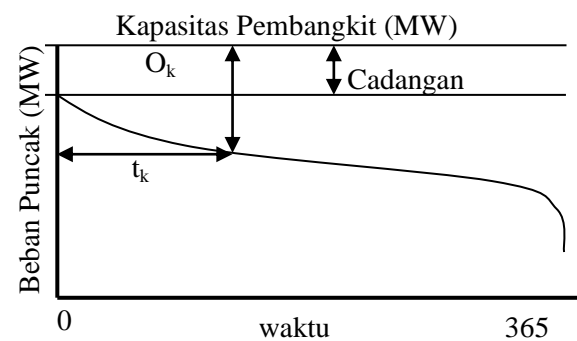
Nilai - nilai indeks keandalan ini menyatakan tingkat ketidakandalan operasi sistem pembangkit mencatu energi listrik ke sistem beban. Pada penulisan tugas akhir ini metode yang digunakan untuk menghitung indeks keandalan menggunakan metode harapan kehilangan beban dan metode harapan kehilangan energi.

### 2.4.1 Metode Loss Of Load Probability

Perlu diketahui ada perbedaan antara istilah pelepasan kapasitas (*capacity outage*) dan kehilangan beban (*loss of load*). Istilah pelepasan kapasitas menunjukan kepada suatu kehilangan pembangkit yang terjadi dapat maupun tidak dapat mengakibatkan kehilangan beban, tergantung pada batas cadangan kapasitas pembangkit dan tingkat beban pada sistem. Sedangkan jika kehilangan beban akan terjadi hanya jika kemampuan kapasitas pembangkit yang tersedia dalam pelayanan dilampaui oleh tingkat beban pada sistem.

Gambar 1 menunjukkan hubungan antara beban, kapasitas dan cadangan, dimana model beban yang ditunjukkan merupakan kurva kontinyu selama periode 365 hari.

Terlihat bahwa pelepasan kapasitas ke-k, sebesar  $O_k$  melebihi cadangan sehingga mengakibatkan kontribusi terhadap LOLP sistem yaitu sebesar ptk dalam satuan waktu.



Gambar 1 Hubungan Antara Beban, Kapasitas dan Cadangan

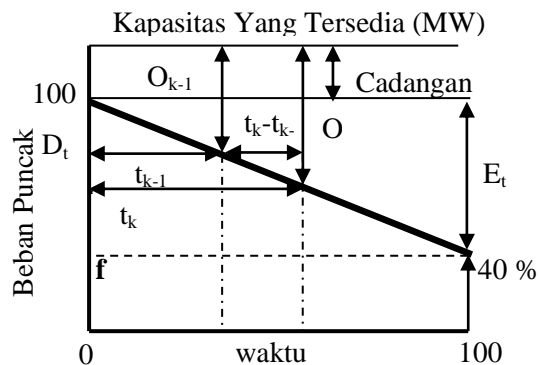
Keterangan :

$O_k$  = Besar pelepasan ke-k dalam tabel probabilitas pelepasan kapasitas sistem.

$t_k$  = Angka selama waktu interval pengamatan dimana besar pelepasan sebesar  $O_k$  mengakibatkan kehilangan beban.

Untuk penyederhanaan dalam perhitungan maka model beban sistem selanjutnya diwakili dengan menggunakan kurva variasi beban puncak harian seperti ditunjukkan pada Gambar 2, mengasumsikan tingkatan yang linier. Jika periode pengamatan

diasumsikan 1 tahun, maka 100 % pada sumbu absis bersesuaian dengan 365 hari. Sedangkan beban puncak sistem bersesuaian dengan kondisi 100 % pada sumbu kordinat.



Gambar 2 Periode Waktu Selama Hilang Beban Terjadi

Dalam sistem terdiri dari banyak unit pembangkit, maka keandalan unit – unit pembangkit yang beroperasi dibandingkan dengan beban yang harus dilayani menggambarkan keandalan sistem tersebut. Dimana periode pengamatan dalam mingguan, bulanan ataupun tahunan. Untuk menentukan lamanya waktu pemadaman (t) pada beban puncak dapat dilihat dalam Gambar 2.2 diperoleh dengan menggunakan metode interpolasi linier

$$t_k = \frac{D_t}{E_t} \times 100\% \quad (5)$$

Dimana :

$D_t$  = jarak antara titik beban puncak sistem dengan titik x

$E_t$  = jarak antara titik beban puncak sistem dengan titik f

$t_k$  = periode waktu hilang beban (%)

Terdapat angka yang menggambarkan berapa besar probabilitas unit – unit pembangkit yang tidak mampu melayani beban atau dalam bahasa inggris disebut *Loss Of Load Probability (LOLP)*. Secara matematis untuk menghitung LOLP pada sistem, yaitu:

$$LOLP = p \times t \quad (6)$$

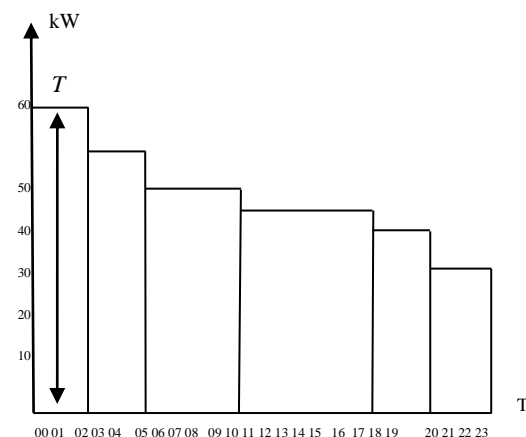
Dimana:

$p$  = probabilitas sistem dapat menyediakan daya sebesar B

$t$  = lamanya garis tersedia daya sebesar B memotong kurva lama beban dari sistem.

## 2.4.2 Metode *Loss Of Energy Expectation*

Indeks *Loss Of Energy Expectation* ditentukan dengan menggunakan kurva variasi beban puncak harian, perkalian antara kapasitas *outage* dengan waktu. Maka indeks LOLE ditentukan dengan menggunakan data kurva beban harian yang akan kita bentuk menjadi kurva lama beban puncak per jam



Gambar 3 Kurva Lama Beban Per jam Dalam Satu Hari

Gambar 3 diatas adalah kurva lama beban awal yang diperoleh dari beban yang dikeluarkan oleh semua pembangkit dalam sistem dengan masing – masing unit pembangkit mempunyai kapasitas dan rata – rata keluaran paksa, dimana kapasitas harus mampu menyediakan energi listrik yang dibutuhkan beban.

Kapasitas pembangkit yang tersedia dari sistem pembangkit adalah merupakan hasil pengurangan antara kapasitas terpasang pembangkit dengan kapasitas pembangkit yang keluar dari sistem. Bila kapasitas sistem yang tersedia tidak mampu mencukupi kapasitas sistem beban, maka akan terjadi kehilangan energi. Energi sistem yang tidak terlayani pada setiap kapasitas pembangkit yang keluar dari sistem pembangkit merupakan pengurangan antara kapasitas terpasang sistem dengan kapasitas pembangkit yang keluar dikali dengan lamanya waktu.

Untuk mencari energi yang tidak dilayani menggunakan persamaan berikut :

$$E_k = \sum_{n=1}^k \Delta l_n \times t_n \quad (7)$$

Dimana (  $K_T - K_O$  ) =  $\Delta l$

Dimana :

$\Delta l$  = Kapasitas pembangkit yang tersedia

$t_n$  = Lamanya waktu kapasitas pembangkit yang tersedia

$E_k$  = Energi yang tidak dilayani

$K_T$  = Kapasitas terpasang sistem pembangkit  
 $K_O$  = Kapasitas pembangkit yang keluar dari sistem

Dari gambar kurva lama beban per jam, garis vertikal menunjukkan besarnya beban yang terpakai dan garis horizontal menunjukkan lamanya waktu  $t$ , sedangkan  $T$  adalah lamanya pengamatan dalam waktu tertentu yang bisa dalam hari, bulan maupun tahunan. Dari kurva lama beban diatas dengan  $x$  adalah beban sistem maka dapat kita hitung energi total ( $E_T$ ) yang dikeluarkan oleh sistem sebagai luas area dibawah kurva lama beban per – jam.

Energi total yang dikeluarkan oleh sistem dengan persamaan berikut :

$$E_T = \sum_{n=1}^T t_n \times l_n \quad (8)$$

Dimana :

$E_T$  = Energi total sistem pembangkit  
 $t_n$  = lamanya waktu  
 $l_n$  = daya yang terpakai

Harapan kehilangan merupakan perkalian dari energi yang tidak terlayani pada setiap kapasitas pembangkit yang keluar dengan probabilitas komulatif dari sistem pembangkit yang dalam persamaan dapat kita tuliskan :

$$LOEE = \sum_{k=1}^n E_k \times P_k \quad (9)$$

Dimana :

$E_k$  = Energi yang tidak terlayani  
 $P_k$  = Probabilitas komulatif

Untuk menyatakan nilai LOEE dalam per unit, maka nilai LOEE dibagi dengan energi total sistem pembangkit dapat kita tuliskan

$$LOEE_{(pu)} = \sum_{k=1}^n \frac{E_k \times P_k}{E_T} \quad (10)$$

Setelah mencari nilai LOEE dalam per unit, maka kita mencari nilai Energi Indeks Realiabiliti untuk mengetahui tingkat jaminan sistem tenaga listrik dan pembangkitan dengan persamaan :

$$EIR = 1 - \frac{LOEE}{E_{total}} \quad (11)$$

### III. Metodologi Penelitian

#### 3.1 Bahan Penelitian

Bahan penelitian yaitu data unit PLTD Sukaharja dan PLTU Sukabangun.

#### 3.2 Alat yang digunakan

1. Laptop Acer Intel *core* i3 dengan sistem operasi *windows* 8.1 dengan RAM 4 GB sebagai media perhitungan dan laporan.
2. Perangkat lunak Matlab R2007b untuk melakukan perhitungan indeks keandalan kehilangan beban.
3. Perangkat lunak Ms. Excel 2007 untuk melakukan perhitungan indeks keandalan kehilangan energi.

#### 3.3 Metode Penelitian

Adapun metode pada penelitian ini yaitu:

1. Studi Literatur  
Langkah awal dalam mengerjakan tugas akhir ini adalah mengumpulkan bahan-bahan yang berhubungan dengan judul laporan akhir dari buku-buku yang ada di perpustakaan maupun buku-buku panduan dari PT. PLN (Persero) selama melakukan pengambilan data.
2. Deskriptif Analitik  
Pada langkah ini deskriptif analitik menghitung data yang didapatkan dan hasil perhitungan kita bandingkan dengan:
  - a. Ketentuan yang telah di ditetapkan. Dalam SPLN : 68-1A : 1986 dijelaskan bahwa untuk memberikan pengarah yang mantap dalam perencanaan, pembangunan maupun operasi sistem tenaga listrik, maka dari itu PT. PLN (persero) menetapkan tingkat jaminan sistem tenaga listrik, baik untuk sistem pembangkitan maupun sistem distribusi. Secara khusus tingkat jaminan untuk sistem pembangkit yang dinyatakan dengan kemungkinan kehilangan beban yang ditetapkan sebagai berikut:
    1. Untuk sistem Jawa-Bali adalah 3 hari per tahun.
    2. Untuk sistem lainnya diluar Jawa-bali adalah 3,5 sampai 5 hari per tahun.
 Nilai-nilai yang ditetapkan diatas adalah nilai maksimum yang diperkenankan, dengan artian bahwa nilai LOLP yang telah dihitung sebaiknya tidak melebihi nilai baku tersebut.
    - b. Secara khusus kemungkinan kehilangan energi LOEE untuk studi ini dianggap nilai indeks keandalannya sebagai berikut:
 
$$0,85 \leq EIR \leq 1$$

Perhitungan nilai indeks keandalan kehilangan energi berada dalam batas atau sama dengan yang telah ditentukan ,maka sistem dikatakan andal namun jika berada diluar batas yang ditentukan maka sistem dapat dikatakan tidak andal.

### 3.4 Prosedur Penelitian

Adapun prosedur pada penelitian ini adalah

1. Tahap Persiapan
  - a. Mengumpulkan data yang diperlukan berupa data pembangkit, data jam operasi, data jam gangguan, data beban tiap – tiap pembangkit, kurva beban harian. Setelah data diperoleh dilakukan olah data dengan menggunakan aplikasi perangkat lunak pada metode yang dilakukan, agar selanjutnya dapat diperoleh hasil yang sesuai.
2. Tahap Pelaksanaan
  - a. Melakukan perhitungan menggunakan *software* MatLab 2007 untuk menentukan indeks keandalan kehilangan beban.
  - b. Melakukan perhitungan menggunakan *software* Ms. Excel 2007 untuk menentukan indeks keandalan kehilangan energi.
  - c. Membandingkan hasil perhitungan indeks keandalan menggunakan metode *Loss Of Load Probability* dan metode *Loss Of Energy Expectation* dengan ketentuan yang ditetapkan.
3. Tahap Pengolahan Data
  - a. Mendeskripsikan hasil pengolahan data dan membuat kesimpulan sebagai jawaban dari masalah dalam penelitian.
  - b. Menyusun laporan penelitian.

### 3.5 Data Penelitian

Data yang digunakan dalam penelitian ini adalah data jam operasi, data gangguan dan pemeliharaan, daya mampu setiap unit, data beban setiap unit dan kurva lama beban khusus PLTD Sukaharja. Adapun data tersebut dapat disajikan dihalaman selanjutnya.

#### 3.5.1. Data Unit Setiap Pembangkit

No	Unit Pembangkit	Merk	No Seri	Tahun Operasi	Daya Terpasang (kW)	Daya Mampu (kW)
1	SUKAHARJA	DEUTZ	7208764	1987	1237	950
2	SUKAHARJA	DEUTZ	7208391	1987	1237	950
3	SUKAHARJA	WARTSILA	4494	1990	3000	2000
4	SUKAHARJA	WARTSILA	4495	1990	3000	2000
5	SUKAHARJA	RUSTON	IH.9837	1991	3140	2200
6	SUKAHARJA	RUSTON	IH.9837	1991	3140	2050

No	Unit Pembangkit	Merk	Tahun Operasi	Daya Terpasang (kW)	Daya Mampu (kW)
1	PLTU UNIT 1	Sichuan Crun Power Equipment Co.Ltd	2016	10000	10000
2	PLTU UNIT 2	Sichuan Crun Power Equipment Co.Ltd	2016	10000	10000

#### 3.5.2. Data Jam Operasi Setiap Unit

NO	BULAN	JAM OPERASI UNIT PEMBANGKIT (JAM)						GABUNGAN UNIT
		DEUTZ	DEUTZ	WARTSILA	WARTSILA	RUSTON	RUSTON	
1	JANUARI	232	263	479	296	422	432	2124
2	FEBRUARI	208	304	485	419	430	352	2198
3	MARET	259	353	530	534	531	488	2695
4	APRIL	314	352	438	314	509	444	2371
5	MEI	207	395	469	389	377	424	2261
6	JUNI	227	141	360	315	381	307	1731
7	JULI	314	294	360	378	398	385	2129
8	AGUSTUS	176	273	195	171	262	201	1278
9	SEPTEMBER	181	271	203	160	207	161	1183
10	OKTOBER	226	263	193	172	207	192	1253
11	NOPEMBER	148	184	149	161	206	192	1040
12	DESEMBER	362	397	585	145	249	616	2354
	TOTAL	2854	3490	4446	3454	4179	4194	22617

NO	BULAN	JAM OPERASI UNIT PEMBANGKIT (JAM)		GABUNGAN UNIT
		UNIT 1	UNIT 2	
1	JANUARI	737	0	737
2	FEBRUARI	502	367	869
3	MARET	0	718	718
4	APRIL	0	374	374
5	MEI	0	738	738
6	JUNI	0	701	701
7	JULI	0	741	741
8	AGUSTUS	0	426	426
9	SEPTEMBER	0	625	625
10	OKTOBER	38	622	660
11	NOPEMBER	327	426	753
12	DESEMBER	694	689	1383
	TOTAL	2298	6427	8724

#### 3.5.3. Data Jam Gangguan Setiap Pembangkit

NO	BULAN	JAM GANGGUAN UNIT PEMBANGKIT (JAM)						GABUNGAN UNIT
		DEUTZ	DEUTZ	WARTSILA	WARTSILA	RUSTON	RUSTON	
1	JANUARI	4	1	5	8	10	5	33
2	FEBRUARI	3	2	3	5	9	4	26
3	MARET	3	3	3	3	3	3	18
4	APRIL	7	3	5	5	5	5	30
5	MEI	30	5	4	10	7	4	60
6	JUNI	7	4	4	7	8	3	33
7	JULI	2	56	4	4	6	3	75
8	AGUSTUS	9	5	6	7	10	7	44
9	SEPTEMBER	3	2	5	4	3	5	22
10	OKTOBER	2	2	3	2	5	9	23
11	NOPEMBER	43	1	5	3	2	0	54
12	DESEMBER	3	1	1	8	5	2	20
	TOTAL	116	85	48	66	73	50	438

NO	BULAN	JAM GANGGUAN UNIT PEMBANGKIT (JAM)		GABUNGAN UNIT
		UNIT 1	UNIT 2	
1	JANUARI	7	0	7
2	FEBRUARI	0	16	16
3	MARET	0	16	16
4	APRIL	0	10	10
5	MEI	0	6	6
6	JUNI	0	19	19
7	JULI	0	3	3
8	AGUSTUS	0	4	4
9	SEPTEMBER	0	26	26
10	OKTOBER	0	30	30
11	NOPEMBER	37	23	60
12	DESEMBER	50	17	67
	TOTAL	94	170	264

### 3.5.4. Data Beban Puncak Setiap Pembangkit

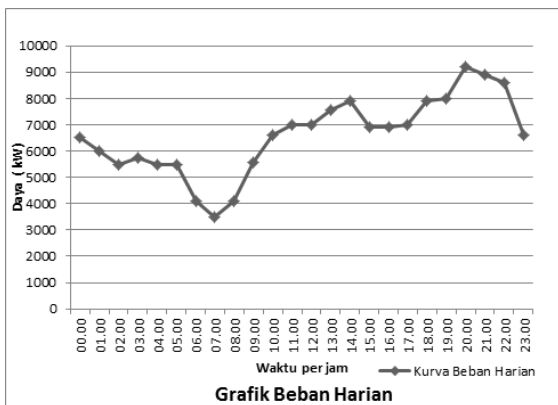
NO	BULAN	BEBAN PUNCAK BULANAN PEMBANGKIT (Kw)					
		DEUTZ	DEUTZ	WARTSILA	WARTSILA	RUSTON	RUSTON
1	JANUARI	750	650	1780	1700	2000	0
2	FEBRUARI	750	650	1780	1700	2000	0
3	MARET	750	650	1780	1700	2000	2000
4	APRIL	750	650	1780	1700	2000	2000
5	MEI	750	650	1780	1700	2000	2000
6	JUNI	850	850	1800	1800	2200	2200
7	JULI	850	850	1750	1800	2200	2200
8	AGUSTUS	850	850	1750	1800	2200	2200
9	SEPTEMBER	894	913	1926	1884	2350	2250
10	OKTOBER	950	904	1925	1330	2327	2046
11	NOVEMBER	906	900	1739	1887	2309	2017
12	DESEMBER	965	926	1885	1826	0	0

NO	BULAN	BEBAN PUNCAK BULANAN PEMBANGKIT (MW)	
		UNIT 1	UNIT 2
1	JANUARI	8,73	0
2	FEBRUARI	8,71	7,91
3	MARET	0	8,88
4	APRIL	0	8,96
5	MEI	0	9,12
6	JUNI	0	8,74
7	JULI	0	8,64
8	AGUSTUS	0	8,59
9	SEPTEMBER	0	8,24
10	OKTOBER	0	8,38
11	NOVEMBER	8,15	8,59
12	DESEMBER	8,35	7,11

### 3.5.5. Data Beban Harian PLTD Sukaharja

NO	WAKTU	BEBAN UNIT PEMBANGKIT (kw)
1	08.00	4100
2	09.00	5550
3	10.00	6600
4	11.00	7000
5	12.00	7000
6	13.00	7550
7	14.00	7900
8	15.00	6900
9	16.00	6900
10	17.00	7000
11	18.00	7900
12	19.00	8000
13	20.00	9200
14	21.00	8900
15	22.00	8600
16	23.00	6600
17	00.00	6500
18	01.00	6000
19	02.00	5500
20	03.00	5750
21	04.00	5500
22	05.00	5500
23	06.00	4100
24	07.00	3500

### 3.5.6. Grafik Beban Harian PLTD Sukaharja



## IV Perhitungan Indeks Keandalan

Ketidakterediaan unit pembangkit yang dinyatakan dalam laju pelepasan paksa (*Forced Outage Rate / FOR*), diperoleh dengan menggunakan persamaan 3.

### 4.1 Data Hasil Perhitungan FOR

Gen	Nama	Gen	Jam	Jam	FOR	[1-FOR]
No	Pembangkit	cap	Operasi	Gangguan	Generator	
		[MW]	[Jam]	[Jam]		
1	Sukaharja-1	0.95	2854.00	116.00	0.039057	0.960943
2	Sukaharja-2	0.95	3490.00	85.00	0.023776	0.976224
3	Sukaharja-3	2.00	4446.00	48.00	0.010681	0.989319
4	Sukaharja-4	2.00	3454.00	66.00	0.018750	0.981250
5	Sukaharja-5	2.20	4179.00	73.00	0.017168	0.982832
6	Sukaharja-6	2.05	4194.00	50.00	0.011781	0.988219

Tabel 4.2 Besar Ketidakterediaan Dan Ketersediaan Unit PLTU Sukabangun

Gen	Nama	Gen	Jam	Jam	FOR	[1-FOR]
No	Pembangkit	cap	Operasi	Gangguan	Generator	
		[MW]	[Jam]	[Jam]		
1	Sukabangun-1	10.00	2297.00	94.00	0.039314	0.960686
2	Sukabangun-2	10.00	6427.00	170.00	0.025769	0.974231

### 4.2 Model Probabilitas Kapasitas

No	Status	Generator	Kapasitas	Prob	Prob					
Komb	G1	G2	G3	G4	G5	G6	Outage	Tersedia	Individu	Kumulatif
1	1	1	1	1	1	1	0.0	10.2	0.8844944792	1.0000000000
2	0	1	1	1	1	1	0.9	9.2	0.0359500209	0.1155055208
3	1	0	1	1	1	1	0.9	9.2	0.0215421292	0.0795554999
4	0	0	1	1	1	1	1.9	8.3	0.0008755736	0.0580133707
5	1	1	1	1	1	0	2.0	8.1	0.0105447601	0.0571377972
6	1	1	0	1	1	1	2.0	8.1	0.0095491982	0.0465930370
7	1	1	1	0	1	1	2.0	8.1	0.0169011684	0.0370438389
8	1	1	1	1	0	1	2.2	8.0	0.0154506095	0.0201426705
9	0	1	0	1	1	1	3.0	7.2	0.0003881244	0.0046920610
10	0	1	1	0	1	1	3.0	7.2	0.0006869431	0.0043039366
11	1	0	0	1	1	1	3.0	7.2	0.0002325736	0.0036169936
12	1	0	1	0	1	1	3.0	7.2	0.0004116330	0.0033844200
13	0	1	1	1	1	0	3.0	7.2	0.0004285887	0.0029727869
14	1	0	1	1	1	0	3.0	7.2	0.0002568208	0.0025441982
15	1	0	1	1	0	1	3.2	7.0	0.0003763042	0.0022873774
16	0	1	1	1	0	1	3.2	7.0	0.0006279855	0.0019110732
17	1	1	0	1	1	0	4.0	6.1	0.0001138436	0.0012830876
18	1	1	1	0	1	0	4.0	6.1	0.0002014922	0.0011692441
19	1	1	0	0	1	1	4.0	6.1	0.0001824688	0.0009677518
20	0	0	1	1	1	0	3.9	6.2	0.0000104384	0.0007852831
21	0	0	0	1	1	1	3.9	6.3	0.0000094529	0.0007748447
22	0	0	1	0	1	1	3.9	6.3	0.0000167307	0.0007653918
23	0	0	1	1	0	1	4.1	6.0	0.0000152948	0.0007486611
24	1	1	1	1	0	0	4.3	5.9	0.0001841990	0.0007333663
25	1	1	0	1	0	1	4.2	5.9	0.0001668082	0.0005491673
26	1	1	1	0	0	1	4.2	5.9	0.0002952346	0.0003823591
27	0	1	0	1	1	0	5.0	5.2	0.0000046271	0.0000871246
28	0	1	1	0	1	0	5.0	5.2	0.0000081896	0.0000824974
29	1	0	0	1	1	0	5.0	5.2	0.0000027727	0.0000743078
30	1	0	1	0	1	0	5.0	5.2	0.0000049074	0.0000715351
31	0	1	0	0	1	1	5.0	5.2	0.0000074164	0.0000666277
32	1	0	0	0	1	1	5.0	5.2	0.0000044441	0.0000592114
33	0	1	1	1	0	0	5.2	5.0	0.0000074867	0.0000547673
34	1	0	1	1	0	0	5.2	5.0	0.0000044862	0.0000472806
35	0	1	0	1	0	1	5.2	5.0	0.0000067799	0.0000427943
36	0	1	1	0	0	1	5.2	5.0	0.0000119997	0.0000360145
37	1	0	0	1	0	1	5.2	5.0	0.0000040627	0.0000240147
38	1	0	1	0	0	1	5.2	5.0	0.0000071905	0.0000199521
39	0	0	0	0	1	1	5.9	4.3	0.0000001806	0.0000127616

No Komb	Status Generator						Kapasitas		Prob Individu	Prob Kumulatif
	G1	G2	G3	G4	G5	G6	Outage	Tersedia		
40	0	0	1	0	1	0	5.9	4.2	0.000001995	0.0000125809
41	0	0	0	1	1	0	5.9	4.2	0.0000001127	0.0000123815
42	1	1	0	0	1	0	6.0	4.1	0.0000021754	0.0000122688
43	0	0	1	1	0	0	6.1	4.0	0.0000001823	0.0000100934
44	0	0	1	0	0	1	6.1	4.0	0.0000002923	0.0000099111
45	0	0	0	1	0	1	6.1	4.0	0.0000001651	0.0000096188
46	1	1	0	1	0	0	6.3	3.9	0.0000019887	0.0000094537
47	1	1	1	0	0	0	6.3	3.9	0.0000035197	0.0000074650
48	1	1	0	0	0	1	6.2	3.9	0.0000031874	0.0000039453
49	1	0	0	1	0	0	7.0	3.2	0.0000000530	0.0000007579
50	0	1	0	0	1	0	7.0	3.2	0.0000000884	0.0000007049
51	1	0	0	1	0	0	7.2	3.0	0.0000000484	0.0000006165
52	0	1	0	1	0	0	7.2	3.0	0.0000000808	0.0000005681
53	0	1	1	0	0	0	7.2	3.0	0.0000001431	0.0000004872
54	1	0	1	0	0	0	7.2	3.0	0.0000000857	0.0000003442
55	0	1	0	0	0	1	7.2	3.0	0.0000001296	0.0000002585
56	1	0	0	0	0	1	7.2	3.0	0.0000000776	0.0000001289
57	0	0	0	0	1	0	8.0	2.2	0.0000000022	0.0000000513
58	0	0	1	0	0	0	8.1	2.0	0.0000000035	0.0000000491
59	0	0	0	1	0	0	8.1	2.0	0.0000000020	0.0000000456
60	0	0	0	0	0	1	8.1	2.0	0.0000000032	0.0000000437
61	1	1	0	0	0	0	8.3	1.9	0.0000000380	0.0000000405
62	1	0	0	0	0	0	9.2	0.9	0.0000000009	0.0000000025
63	0	1	0	0	0	0	9.2	0.9	0.0000000015	0.0000000016
64	0	0	0	0	0	0	10.2	0.0	0.0000000000	0.0000000000

No Komb	Status Generator		Kapasitas		Probabilitas	
	G1	G2	Outage	Tersedia	Individu	Kumulatif
1	1	1	0.0	20.0	0.935930	1.000000
2	1	0	10.0	10.0	0.024756	0.064070
3	0	1	10.0	10.0	0.038301	0.039314
4	0	0	20.0	0.0	0.001013	0.001013

### 4.3 Perhitungan Nilai LOLP

Untuk unit pembangkit Sukaharja beban puncak tertinggi terjadi pada bulan November 2018 yaitu sebesar 9,758 MW, unit pembangkit Sukabangun beban puncak tertinggi terjadi pada bulan November 2018 yaitu sebesar 16,740 MW dan Untuk unit pembangkit Sukaharja dan Sukabangun bekerja paralel atau interkoneksi dengan beban puncak tertinggi terjadi pada bulan November 2018 yaitu sebesar 26,498 MW.

No	Kapasitas Outage [MW]	Kapasitas Tersedia [MW]	Probabilitas Individu	t [%]	lolp [p x t]
1	0.00	10.15	0.884494	0.00	0.000000
2	0.95	9.20	0.035950	9.53	1.250588
3	0.95	9.20	0.021542	9.53	0.749383
4	1.90	8.25	0.000876	25.76	0.082314
5	2.05	8.10	0.010545	28.32	1.089939
6	2.00	8.15	0.026450	27.46	2.651542
7	2.20	7.95	0.015451	30.88	1.741505
8	2.95	7.20	0.000388	43.69	0.061895
9	2.95	7.20	0.000687	43.69	0.109547
10	2.95	7.20	0.000233	43.69	0.037089
11	2.95	7.20	0.000412	43.69	0.065643
12	3.00	7.15	0.000685	44.54	0.111439
13	3.15	7.00	0.000376	47.11	0.064701
14	3.15	7.00	0.000628	47.11	0.107975
15	4.05	6.10	0.000114	62.48	0.025962
16	4.05	6.10	0.000201	62.48	0.045950
17	4.00	6.15	0.000182	61.62	0.041043
18	3.95	6.20	0.000010	60.77	0.002315
19	3.90	6.25	0.000026	59.92	0.005726
20	4.10	6.05	0.000015	63.33	0.003536
21	4.25	5.90	0.000184	65.89	0.044303
22	4.20	5.95	0.000462	65.04	0.109688
23	5.00	5.15	0.000020	78.70	0.005888
24	4.95	5.20	0.000007	77.85	0.002107
25	4.95	5.20	0.000004	77.85	0.001263
26	5.20	4.95	0.000012	82.12	0.003589
27	5.15	5.00	0.000007	81.27	0.002011
28	5.15	5.00	0.000012	81.27	0.003559
29	5.15	5.00	0.000004	81.27	0.001205
30	5.15	5.00	0.000007	81.27	0.002133

No	Kapasitas Outage [MW]	Kapasitas Tersedia [MW]	Probabilitas Individu	t [%]	lolp [p x t]
30	5.15	5.00	0.000007	81.27	0.002133
31	5.90	4.25	0.000000	94.08	0.000062
32	5.95	4.20	0.000000	94.93	0.000069
33	5.95	4.20	0.000000	94.93	0.000039
34	6.05	4.10	0.000002	96.64	0.000767
35	6.15	4.00	0.000000	98.35	0.000065
36	6.10	4.05	0.000000	97.49	0.000163
37	6.25	3.90	0.000002	100.00	0.000726
38	6.25	3.90	0.000004	100.00	0.001285
39	6.20	3.95	0.000003	99.20	0.001154
40	7.00	3.15	0.000000	100.00	0.000052
41	7.20	2.95	0.000000	100.00	0.000131
42	7.15	3.00	0.000000	100.00	0.000047
43	7.15	3.00	0.000000	100.00	0.000028
44	7.95	2.20	0.000000	100.00	0.000001
45	8.15	2.00	0.000000	100.00	0.000001
46	8.15	2.00	0.000000	100.00	0.000001
47	8.10	2.05	0.000000	100.00	0.000001
48	8.25	1.90	0.000000	100.00	0.000014
49	9.20	0.95	0.000000	100.00	0.000001
50	10.15	-0.00	0.000000	100.00	0.000000

LOLP total = 8.428446 [Hari/Thn]

No	Kapasitas Outage [MW]	Kapasitas Tersedia [MW]	Probabilitas Individu	t [%]	lolp [p x t]
1	0.00	20.00	0.935930	0.00	0.000000
2	10.00	10.00	0.063057	62.50	14.384922
3	20.00	0.00	0.001013	100.00	0.369780

LOLP total = 14.754702 [Hari/Thn]

No	Kapasitas Outage [MW]	Kapasitas Tersedia [MW]	Probabilitas Individu	t [%]	lolp [p x t]
1	10.0	20.1	0.055774	39.93	8.128186
2	10.9	19.3	0.002267	45.59	0.377206
3	10.9	19.3	0.001358	45.59	0.226030
4	11.9	18.3	0.000055	51.88	0.010460
5	12.0	18.1	0.000665	52.51	0.127436
6	12.0	18.1	0.001668	52.51	0.319646
7	12.2	17.9	0.000974	53.77	0.191198
8	13.0	17.1	0.000024	58.80	0.005251
9	13.0	17.1	0.000043	58.80	0.009297
10	13.0	17.1	0.000015	58.80	0.003153
11	13.0	17.1	0.000026	58.80	0.005575
12	13.0	17.1	0.000043	58.80	0.009270
13	13.2	16.9	0.000024	60.05	0.005197
14	13.2	16.9	0.000040	60.05	0.008680
15	14.0	16.1	0.000007	65.09	0.001708
16	14.0	16.1	0.000013	65.09	0.003011
17	14.0	16.1	0.000011	65.09	0.002726
18	13.9	16.3	0.000002	64.46	0.000386
19	14.3	15.8	0.000012	66.97	0.002836
20	14.2	15.9	0.000029	66.34	0.007055
21	15.0	15.1	0.000001	71.38	0.000329

LOLP total = 9.444635 hari/thn

### 4.4 Perhitungan Nilai LOEE

Untuk menentukan nilai-nilai LOEE dalam hari pada interval waktu tertentu selama 1 tahun pengamatan di unit pembangkit PLTD Sukaharja saja. Berdasarkan dengan kondisi kurva lama beban per - jam, maka dapat ditentukan lamanya waktu dari masing – masing pembangkit melayani beban dengan menggunakan teori pythagoras yang beroperasi selama 24 jam.

No	$P_{in}$ (MW)	$P_{out}$ (MW)	Probabilitas Kumulatif	$E_k$ (MWh)	LOEE ( $E_k \times P_k$ ) (MWh)
1	10	1	1	0	0
2	9	2	0,115505521	7,789701936	6,742177387
3	8	3	0,057137797	41,54507699	215,7496604
4	7	4	0,004692061	66,64522768	634,5123389
5	6	5	0,001283088	83,09015399	1510,244244
6	5	6	$8,71246 \times 10^5$	90,87985592	2045,122414
7	4	7	$1,22688 \times 10^5$	90,01433349	2025,645058
8	3	8	$7,579 \times 10^7$	72	1,991592
9	2	9	$5,13 \times 10^8$	48	0,924384
10	1	10	$3,5 \times 10^9$	24	0,073656
<b>JUMLAH TOTAL LOEE</b>					<b>3,601786039</b>



#### 4.5 Analisa Hasil Perhitungan

Dari gambaran sistem dan hasil-hasil perhitungan dapat dianalisa bahwa :

1. Hasil perhitungan LOLP untuk unit pembangkit Sukaharja terhadap beban puncak sebesar 9,758 MW adalah 8,428446 hari/Thn
2. Hasil perhitungan LOLP untuk unit pembangkit Sukabangun terhadap beban puncak sebesar 16,740 MW adalah 14,754702 hari/Thn
3. Hasil perhitungan kerja paralel atau interkoneksi antara unit pembangkit Sukaharja dan unit pembangkit Sukabangun terhadap beban puncak 26,498 MW adalah 9,444635 hari/thn

Berdasarkan hasil perhitungan, nilai LOLP unit pembangkit Sukaharja dengan daya mampu 10,15 MW terhadap beban puncak sebesar 9,7558 MW tidak memiliki keandalan sesuai ketentuan PLN (diatas 3 hari per tahun) yaitu 8,428446 hari/tahun. Hal ini disebabkan dalam perhitungan LOLP tidak dimasukkan unit pembangkit milik swasta, sehingga unit pembangkit Sukaharja tidak mampu memenuhi kebutuhan beban yang dicapai dan terdapat unit – unit pembangkit yang memiliki jam gangguan cukup besar yang ditunjukkan pada Tabel 4.1.

Nilai LOLP unit pembangkit Sukabangun dengan daya mampu 20 MW terhadap beban puncak 16,740 MW tidak memiliki keandalan yang sesuai dengan ketentuan PLN yaitu 14,754702 hari/tahun. Hal ini disebabkan unit pembangkit Sukabangun mengalami masa pemeliharaan yang cukup lama dan sering terjadi gangguan yang tidak terduga yaitu pada unit pembangkit Sukabangun 1 ditunjukkan pada Tabel 4.2, menyebabkan unit pembangkit tidak mampu memenuhi kebutuhan beban pada sistem.

Pada saat unit pembangkit Sukaharja dan unit pembangkit Sukabangun bekerja paralel, nilai LOLP yang dihitung terhadap beban puncak 26,498 MW adalah 9,444635 hari/tahun. Nilai LOLP tersebut masih jauh dari ketentuan PLN, yang berarti unit pembangkit Sukaharja dan unit pembangkit Sukabangun tidak mampu memenuhi kebutuhan beban yang tercapai .

Hasil perhitungan nilai LOEE pada unit pembangkit Sukaharja terhadap beban puncak 9,2 MW sebesar 3,601786039 MWh dan nilai indeks harapan kehilangan energi sebesar 0,977211. Nilai ini masih dalam batas nilai keandalan yang ditentukan maka keandalan pembangkit tersebut handal, diakibatkan unit

pembangkit memiliki nilai FOR yang kecil pada unit pembangkit.

## V Penutup

### 5.1 Kesimpulan

Dari hasil perhitungan dan pembahasan yang telah disampaikan pada bab sebelumnya, maka dapat diberikan kesimpulan sebagai berikut:

1. Karena nilai LOLP merupakan tingkat resiko dalam mengoperasikan sistem tenaga listrik, sekaligus juga merupakan tingkat jaminan operasi sistem tenaga listrik, maka apabila diinginkan tingkat jaminan operasi yang tinggi maka tingkat resiko harus rendah atau nilai LOLP harus kecil.
2. Perhitungan keandalan pembangkit tenaga listrik kedua unit pembangkit dapat dilihat bahwa nilai LOLP menjadi rendah tetapi masih melewati batas yang telah ditentukan yaitu untuk PLTD Sukaharja terhadap beban puncak sebesar 9,758 MW adalah 8,42844 hari/pertahun, PLTU Sukabangun terhadap beban puncak sebesar 16,740 MW adalah 14,754702 hari/pertahun dan pada saat kerja paralel terhadap beban puncak 26,498 MW adalah 9,444635 hari/pertahun. Sehingga dapat disimpulkan unit - unit pembangkit PLTD Sukaharja dan PLTU Sukabangun tidak handal perlu adanya evaluasi dalam sistem pembangkitannya.
3. Keandalan sistem pembangkit di unit pembangkit Sukaharja dengan metode kehilangan energi atau nilai LOEE terhadap beban puncak 9,2 MW sebesar 3,601786039 MWh dan nilai indeks harapan kehilangan energi sebesar 0,977211, dapat dikatakan sistem unit pembangkit PLTD Sukaharja andal.

### 5.2 Saran

Adapun saran yang dapat penulis sampaikan berdasarkan hasil evaluasi yakni sebagai berikut:

1. Perlu adanya koordinasi yang baik dalam menyusun pemeliharaan yang baik dan teratur pada setiap unit – unit pembangkit yang ada agar tetap beroperasi baik sehingga dengan pemeliharaan baik dan terencana dapat memperkecil terjadinya gangguan atau kerusakan pada pembangkit, karena semakin kecil gangguan atau kerusakan yang dialami unit – unit pembangkit,

- unit – unit pembangkit, maka keandalan pembangkit akan semakin handal.
2. Untuk pengoperasian pembangkit diharapkan untuk dapat secara terus menerus bekerja secara paralel, agar ketersediaan energi listrik dapat lebih terjamin dalam melayani beban.
  3. Untuk yang tertarik melakukan evaluasi keandalan pada sistem Ketapang diharapkan melakukan perhitungan dengan jumlah kombinasi sesuai jumlah unit pembangkit yang memikul beban pada sistem Ketapang tanpa dibuat pemisahan secara grup-grup sebagaimana pada skripsi ini. Dengan maksud hasil evaluasi keandalan pembangkit di sistem kelistrikan Ketapang lebih tepat dan mendapatkan nilai yang sesuai.

#### IV. Referensi

- [1] Billinton, Roy. 1990. Reliability Evaluation Of Power System. New York: Plenum Press
- [2] Billinton, Roy. 1982. Power System Reliability Evaluation. New York: Gordon and Breach. 1982F. Trias Pontia W. *Bahan Ajar Jaringan Komputer*. Pontianak: Universitas Tanjungpura
- [3] Endrenyi, J. 1978. Reliability Modeling In Electric Power Sistem. John Willey and Son Ltd.
- [4] E. Walpole, Ronald, dan Raymond H. Myers. 1995. Ilmu Peluang Dan Statistik Untuk Insinyur Dan Ilmuwan. Bandung: Penerbit ITB. M. Firdaus, Fahri, dan Etika Nuraini. 2015. *Dasar dan Perancangan Wireless ICT Networks*. Yogyakarta: UII Press
- [5] J. Wood, Allen, dan Bruce F. Wollenberg. 1996. Power Generation, Operation, and Control second edition. John Willey and Sons Inc.
- [6] Marsudi, Djiteng. 2005. *Pembangkitan Energi Listrik*. Jakarta: penerbit Erlangga.
- [7] Marsudi, Djiteng. 2006. *Operasi Sistem Tenaga Listrik*, edisi kedua. Yogyakarta: penerbit Graham Ilmu Nurmalia. 2010. Skripsi. *Pengukuran Interferensi Pada Access Point (Ap) Untuk Mengetahui Quality Of Service (Qos)*. Jakarta: Fakultas Sains Dan Teknologi Universitas Islam Negeri Syarif Hidayatullah Jakarta

- [8] SPLN : 68-1A : 1986, Tingkat Jaminan Sistem Tenaga Listrik. Bagian Satu : Sistem Tenaga Hulu : A. Pembangkitan, Departemen Pertambangan Dan Energi, Jakarta: PLN, 1986.
- [9] Eko Prasetyo, Gunawan, “ Studi Tentang Indeks Keandalan Pembangkita Tenag Listrik Wilayah Jawa Tengah Dan Daerah Istimewa Yogyakarta”, Tugas Akhir, Undip ,Semarang, 2011.
- [10] Sianturi, Patimbul ateng. “ Studi Keandalan Pembangkit Tenaga Listrik Di Bumi Raya Utama”, Tugas Akhir, Untan, Pontianak, 2004

#### Biografi



**Adrianus Cekum**, lahir di Ketapang, 02 Agustus 1994. Menempuh pendidikan dasar di SD Pangudi Luhur Santo Yosef Ketapang tahun 2006, melanjutkan ke SMP Pangudi Luhur Santo Albertus Ketapang sampai tahun 2009, dan melanjutkan ke SMK Negeri 2 Ketapang sampai tahun 2012. Memperoleh gelar Sarjana dari Program Studi Teknik Elektro Universitas Tanjungpura Pontianak pada tahun 2019. Penelitian ini diajukan sebagai syarat untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik Elektro Konsentrasi Teknik Tenaga Listrik Fakultas Teknik Universitas Tanjungpura.

Menyetujui :  
Pembimbing Utama,

Ir. Junaedi, M.Sc  
NIP. 19590828 198602 1 001

Pembimbing Pembantu,

Dr. Purwoharjono, S.T., M.T  
NIP. 19720102 199802 1 001