



**TUGAS AKHIR - EE 184801**

**STUDI PENGARUH KEANDALAN SISTEM TENAGA LISTRIK TERHADAP BIAYA POKOK PRODUKSI DENGAN MENGEMBANGKAN PLT HYBRID (PLTD - PLTS - BATTERY STORAGE) PADA PULAU TRI NUSA**

**IDA BAGUS YUDISTIRA ANGGRADANA PUTRA**  
NRP 07111540000138

Dosen Pembimbing  
Prof. Ir. H. Ontoseno Penangsang, M.Sc., Ph.D.  
Dr. Rony Seto Wibowo, ST., MT.

DEPARTEMEN TEKNIK ELEKTRO  
Fakultas Teknologi Elektro  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember  
Surabaya 2019

*(Halaman ini sengaja dikosongkan)*



**FINAL PROJECT - EE 184801**

**STUDY OF POWER SYSTEM RELIABILITY EFFECT  
TOWARDS BASIC COST PRODUCTION BY  
DEVELOPING PLT HYBRID (PLTD - PLTS - BATTERY  
STORAGE) IN TRI NUSA ISLAND**

Ida Bagus Yudistira Anggradana Putra  
NRP 07111540000138

Advisors

Prof. Ir. H. Ontoseno Penangsang, M.Sc., Ph.D.  
Dr. Rony Seto Wibowo, ST., MT.

DEPARTMENT OF ELECTRICAL ENGINEERING  
Faculty of Electrical Technology  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember  
Surabaya 2019

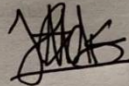
*(Halaman ini sengaja dikosongkan)*

## PERNYATAAN KEASLIAN TUGAS AKHIR

Dengan ini saya menyatakan bahwa isi sebagian maupun keseluruhan Tugas Akhir saya dengan judul “**Studi Pengaruh Keandalan Sistem Tenaga Listrik terhadap Biaya Pokok Produksi dengan mengembangkan PLT Hybrid (PLTD – PLTS – Battery Storage) pada Pulau Tri Nusa**” adalah benar-benar hasil karya intelektual mandiri, diselesaikan tanpa menggunakan bahan-bahan yang tidak diijinkan dan bukan merupakan karya pihak lain yang saya akui sebagai karya sendiri.

Semua referensi yang dikutip maupun dirujuk telah ditulis secara lengkap pada daftar pustaka. Apabila ternyata pernyataan ini tidak benar, saya bersedia menerima sanksi sesuai peraturan yang berlaku.

Surabaya, Juni 2019



Ida Bagus Yudistira Anggradana Putra

07111540000138

*(Halaman ini sengaja dikosongkan)*

**STUDI PENGARUH KEANDALAN SISTEM TENAGA  
LISTRIK TERHADAP BIAYA POKOK PRODUKSI  
DENGAN MENGEMBANGKAN PLT HYBRID  
(PLTD – PLTS – BATTERY STORAGE) PADA  
PULAU TRI NUSA**

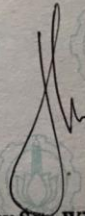
**TUGAS AKHIR**

**Diajukan Guna Memenuhi Sebagian Persyaratan  
Untuk Memperoleh Gelar Sarjana Teknik  
Pada  
Bidang Studi Teknik Sistem Tenaga  
Departemen Teknik Elektro  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember**

**Menyetujui :**

**Dosen Pembimbing I,**

**Dosen Pembimbing II,**



Prof. Ir. H. Ontoseno Penangsang, M.Sc, Ph.D.

Dr. Rony Seto Wibowo, ST., MT.

NIP. 194907151974121001

NIP. 197411292000121001



*(Halaman ini sengaja dikosongkan)*



# **STUDI PENGARUH KEANDALAN SISTEM TENAGA LISTRIK TERHADAP BIAYA POKOK PRODUKSI DENGAN MENGEMBANGKAN PLT *HYBRID* (PLTD – PLTS – *BATTERY STORAGE*) PADA PULAU TRI NUSA**

Nama mahasiswa : Ida Bagus Yudistira Anggradana Putra  
Dosen Pembimbing I : Prof. Ir. H. Ontoseno Penangsang, M.Sc., Ph.D.  
Dosen Pembimbing II : Dr. Rony Seto Wibowo, ST., MT.

## **ABSTRAK**

Kondisi daerah Tri Nusa (Nusa Penida, Nusa Ceningan dan Nusa Lembongan) saat ini masih bersifat *isolated* karena jauh berada dari Pulau Bali. Selain itu tidak memungkinkannya untuk terkoneksi ke sistem jaringan distribusi Bali. Hingga bulan Agustus 2018, sistem Tri Nusa ini memiliki beban puncak sebesar 7.250 kW dengan daya yang mampu yang dihasilkan dari pembangkit sewa sebesar 6000 kW dan pembangkit sendiri sebesar 1.400 kW sehingga memiliki daya cadangan sebesar 150 kW/2.07%. Menurut data load forecasting yang disimulasikan oleh PLN terdapat kenaikan 10-15% per tahun karena adanya peningkatan beban seiring kenaikan jumlah wisatawan yang mengunjungi daerah Tri Nusa. Untuk mengatasi hal tersebut, oleh karena itu akan direncanakan untuk mengembangkan PLT Hybrid yang terdiri dari PLTD, PLTS dan *Battery Storage* yang akan meminimalisasi Biaya Pokok Produksi (BPP). Selain itu dengan metode *loss of load probability* (LOLP) yang dapat mengevaluasi keandalan suatu sistem Pembangkit Listrik Tenaga Diesel (PLTD) serta sumber energi terbarukan berupa *photovoltaic* dan *battery storage*.

**Kata kunci:** *PLT Hybrid*, *Loss of Load Probability* dan Biaya Pokok Produksi

*(Halaman ini sengaja dikosongkan)*

# **STUDY OF POWER SYSTEM RELIABILITY EFFECT TOWARDS BASIC COST PRODUCTION BY DEVELOPING PLT HYBRID (PLTD – PLTS – BATTERY STORAGE) IN TRI NUSA ISLAND**

Student Name : Ida Bagus Yudistira Anggradana Putra  
Supervisor I : Prof. Ir. H. Ontoseno Penangsang, M.Sc., Ph.D.  
Supervisor II : Dr. Rony Seto Wibowo, ST., MT.

## **ABSTRACT**

The condition of Tri Nusa (Nusa Penida, Nusa Ceningan and Nusa Lembongan) is currently isolated because it is far from Bali Island. Furthermore, it is impossible to connect to the Bali distribution network system. As August 2018, Tri Nusa Island has a peak load 7.250 kW with a power capability of generating at least 6.000 kW and self-generating power of 1.400 kW, which has a reserve power of 150 kW / 2.07%. According to the data load forecasting simulated by PLN, there is a 10-15% increase per year due to increasing of the number of tourists visiting the Tri Nusa area. To overcome this, it will be planned to evolve PLT Hybrid consisting of PLTD, PLTS and Battery Storage which will minimize Basic Cost Production (BPP). In addition, the loss of load probability (LOLP) method can evaluate the reability index of PLTD system and renewable energy sources composed of photovoltaic and battery storage.

**Key Word:** PLT *Hybrid*, Loss of Load Probability and Basic Cost Production.

*(Halaman ini sengaja dikosongkan)*

## KATA PENGANTAR

Tiada kata yang mampu menggambarkan seberapa banyak syukur yang harus penulis panjatkan kepada Tuhan Yang Maha Esa, atas segala Rahmat, Karunia, dan Petunjuk yang telah dilimpahkan-Nya, walaupun baragam tantangan menghadang, pada akhirnya penulis mampu menyelesaikan Tugas Akhir ini yang berjudul “**Studi Pengaruh Keandalan Sistem Tenaga Listrik terhadap Biaya Pokok Produksi dengan mengembangkan PLT *Hybrid* (PLTD – PLTS – *Battery Storage*) pada Pulau Tri Nusa**”.

Tugas Akhir ini disusun sebagai salah satu persyaratan untuk menyelesaikan jenjang pendidikan S1 pada Bidang Studi Teknik Sistem Tenaga, Departemen Teknik Elektro, Fakultas Teknologi Elektro, Institut Teknologi Sepuluh Nopember. Atas selesainya penyusunan tugas akhir ini, penulis mengucapkan terima kasih kepada:

1. Ida Sang Hyang Widhi Wasa atas limpahan rahmat, karunia dan petunjuk-Nya.
2. Kedua orang tua serta keluarga lainnya atas segala doa dan cinta yang tak henti pada penulis dalam keadaan apapun. Semoga Ida Sang Hyang Widhi Wasa senantiasa melindungi dan memberi mereka tempat terbaik kelak di surga.
3. Prof. Ir. H. Ontoseno Penangsang, M.Sc, Ph.D. dan Dr. Rony Seto Wibowo, ST., MT. selaku dosen pembimbing yang telah memberikan arahan, bimbingan dan perhatiannya selama proses penyelesaian Tugas Akhir ini.
4. Rekan-rekan PSSL e55 yang telah membantu dan bersama-sama berjuang untuk menyelesaikan tugas akhir.
5. Teman-teman seperjuangan e55 yang telah menemani dan menorehkan cerita selama masa kuliah sampai penyusunan Tugas Akhir ini.
6. Seluruh dosen dan karyawan Departemen Teknik Elektro ITS yang telah memberikan banyak ilmu dan menciptakan suasana belajar yang luar biasa.
7. Semua pihak yang terlibat dan berkontribusi terhadap pengerjaan tugas akhir ini yang tidak dapat penulis sebutkan satu-persatu.

Penulis telah berusaha maksimal dalam penyusunan tugas akhir ini. Namun tetap besar harapan penulis untuk menerima saran dan kritik untuk perbaikan dan pengembangan tugas akhir ini. Semoga tugas akhir ini dapat memberikat manfaat yang luas.

Surabaya, Juni 2019

Penulis

07111540000138

# DAFTAR ISI

ABSTRAK.....	vii
ABSTRACT.....	ix
KATA PENGANTAR .....	x
DAFTAR GAMBAR .....	xv
DAFTAR TABEL.....	xvii
BAB 1 .....	1
PENDAHULUAN .....	1
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Perumusan Masalah.....	2
1.3 Batasan Masalah.....	2
1.4 Tujuan.....	2
1.5 Metodologi.....	2
1.6 Sistematika Penulisan.....	3
1.7 Relevansi .....	4
BAB 2 .....	5
DASAR TEORI .....	5
2.1 Pembangkit Listrik Tenaga Diesel (PLTD).....	5
2.2.1 Penjelasan Secara Umum .....	5
2.1.2 Prinsip Kerja PLTD secara umum.....	6
2.1.3 Jenis Bahan Bakar .....	6
2.1.4 Konsumsi Bahan Bakar PLTD .....	6
2.1.5 Faktor Kapasitas ( <i>Capacity Factor</i> ) .....	7
2.2 Pembangkit Listrik Tenaga Surya ( <i>Photovoltaic</i> ).....	7
2.2.1 Penjelasan Secara Umum .....	7
2.2.1 Rangkaian Ekuivalen <i>Photovoltaic</i> .....	7
2.2.2 Instalasi <i>Photovoltaic</i> .....	10
2.2.3 Keadaan Estimasi dari <i>Photovoltaic</i> .....	11
2.3 Beban Listrik .....	11
2.3.1 Kurva Beban Harian ( <i>Load Duration Curve</i> ).....	11
2.3.2 Kurva Lama Beban.....	12
2.4 Karakteristik Perencanaan Pembangkit Listrik.....	12
2.5 Biaya dan Optimasi Pembangkit Listrik .....	13
2.6 Keandalan Sistem Pembangkit Tenaga Listrik .....	14
2.6.1 Indeks keandalan suatu pembangkit .....	15

2.6.2 LOLP ( <i>Loss of Load Probability</i> ).....	15
BAB 3 .....	19
SISTEM KELISTRIKAN TRI NUSA DAN MODEL PERENCANAAN .....	19
3.1 Kondisi Sistem Kelistrikan Tri Nusa .....	19
3.1.1 Sistem Pembangkit Tri Nusa .....	19
3.2 Pemodelan dan Perencanaan Sistem Pembangkit .....	21
3.2.1 Rencana Lokasi PLT Hybrid.....	22
3.2.2 Data Potensi Energi Sinar Matahari atau Energi Surya di Pulau Nusa Penida.....	23
3.2.3 Pola Operasi Sistem.....	24
3.3 Pola dan Perkiraan Beban Puncak .....	26
3.4 Historis Gangguan pada PLTD Tri Nusa .....	28
3.5 Asumsi Harga Perencanaan Pembangkit .....	31
3.6 Metodologi WASP-IV .....	34
Seluruh parameter modul tersebut akan ditentukan perencanaan keandalan sistem yang paling optimum sehingga dapat dilihat pada modul REPROBAT ( <i>REPORT (Report Writer of WASP in Batched Environment)</i> ).....	35
3.6.1 Blok Diagram Metodologi WASP-IV .....	36
3.7 Blok Diagram Penentuan Biaya Pokok Produksi (BPP).....	37
BAB 4 .....	39
SIMULASI DAN ANALISA PERENCANAAN PEMBANGKIT .....	39
4.1 Data dan Parameter Perencanaan Pembangkit.....	39
4.2 Proses Simulasi WASP IV.....	40
4.3 Hasil dan Analisa Keandalan dan Perhitungan BPP Pembangkit	41
BAB 5 .....	49
PENUTUP.....	49
5.1 Kesimpulan .....	49
5.2 Saran .....	49
DAFTAR PUSTAKA .....	51
BIODATA PENULIS .....	53



## DAFTAR GAMBAR

<b>Gambar 2.1</b> Sistematika PLTD .....	5
<b>Gambar 2.2</b> Skema <i>Photovoltaic</i> .....	8
<b>Gambar 2.3</b> Karakteristik Performa dari Panel Surya Silikon .....	9
<b>Gambar 2.4</b> Sistem PV untuk <i>Standalone Hybrid Power System</i> .....	10
<b>Gambar 2.5</b> Sistem PV terhubung grid PLN .....	11
<b>Gambar 2.6</b> <i>Load Duration Curve</i> (LDC) .....	12
<b>Gambar 2.7</b> Diagram proses output dan input penentuan keandalan...	16
<b>Gambar 2.8</b> LDC, kapasitas terpasang dan tersedia .....	16
<b>Gambar 3.1</b> Skema Perencanaan Pembangkit PLT <i>Hybrid</i> .....	21
<b>Gambar 3.2</b> Lokasi PLT <i>Hybrid</i> Tri Nusa .....	22
<b>Gambar 3.3</b> Mengkonfigurasi perencanaan titik koordinat pembangkit .....	23
<b>Gambar 3.4</b> Output intensitas energi yang dihasilkan cahaya matahari .....	23
<b>Gambar 3.5</b> Kurva Pola Pembebanan .....	24
<b>Gambar 3.6</b> Flow chart metodologi penentuan keandalan.....	36
<b>Gambar 3.7</b> Flow chart metodologi penentuan BPP.....	37
<b>Gambar 4.1</b> Hasil Simulasi LOLP PLTD .....	41
<b>Gambar 4.2</b> Hasil Simulasi LOLP PLT <i>Hybrid</i> .....	41
<b>Gambar 4.3</b> Grafik perbandingan LOLP .....	42

*(Halaman ini sengaja dikosongkan)*

## DAFTAR TABEL

<b>Tabel 3.1</b> Data Pembangkit Tri Nusa .....	20
<b>Tabel 3.2</b> Pola pembebanan per waktu .....	24
<b>Tabel 3.3</b> Beban puncak Oktober 2018 .....	26
<b>Tabel 3.4</b> Proyeksi Kebutuhan Tenga Listrik .....	28
<b>Tabel 3.5</b> Data Historis Gangguan PLTD .....	28
<b>Tabel 3.6</b> Asumsi Harga PLTD .....	32
<b>Tabel 3.7</b> Asumsi Modul PV .....	32
<b>Tabel 3.8</b> Asumsi Baterai .....	33
<b>Tabel 3.9</b> Rencana Anggaran Biaya PLTS dan Baterai .....	33
<b>Tabel 4.1</b> Nilai FOR dan 1-FOR .....	40
<b>Tabel 4.2</b> Perhitungan BPP PLTD .....	43
<b>Tabel 4.3</b> Perhitungan BPP Porsi PLT <i>Hybrid</i> .....	45
<b>Tabel 4.4</b> Perhitungan BPP PLT Hybrid .....	46
<b>Tabel 4.5</b> Perhitungan penghematan PLT Hybrid .....	47

*(Halaman ini sengaja dikosongkan)*

# BAB 1

## PENDAHULUAN

### 1.1 Latar Belakang

Dengan berkembangnya kemajuan teknologi, maka dibutuhkannya pasokan listrik untuk menunjang kebutuhan listrik yang dibutuhkan oleh masyarakat. Saat ini kebanyakan pembangkit listrik masih menggunakan bahan bakar fosil sebagai sumbernya. Padahal pembangkit tersebut memiliki efek yang negatif bagi lingkungan. Energi terbarukan merupakan salah satu sumber energi alternatif yang dapat diperbaharui. Seperti contohnya PLTS (Pembangkit Listrik Tenaga Surya) yang memiliki potensi untuk dimanfaatkan di Indonesia karena mempunyai iklim tropis.

Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) atau *Photovoltaic* dapat digunakan sebagai alternatif untuk mengkonversikan sinar matahari sebagai sumber energi utamanya menjadi energi listrik. Proses konversi energi pada sel surya adalah suatu bahan semikonduktor umumnya silikon yang disinari matahari, kemudian bahan silikon tersebut melepaskan sejumlah energi listrik kecil yang disebut efek fotolistrik. Sistem Operasi *Photo voltaic* dibagi menjadi dua macam yaitu sistem *stand – alone* dan sistem *grid connected* [1]. Sistem *stand – alone*, yaitu sinar matahari yang mempunyai radiasi sangat kecil atau bahkan tidak ada sama sekali. Untuk itu sistem tersebut harus terkoneksi dengan baterai agar energi listrik menjadi stabil. Jika radiasi sinar matahari telah mencukupi, maka baterai tidak terlalu dibutuhkan sehingga energi listrik langsung bersumber dari energi listrik yang dibangkitkan *Photovoltaic*. Lalu sistem *grid – connected*, yaitu pada radiasi sinar matahari sudah mencukupi maka energi listrik yang dihasilkan dapat didistribusikan ke beban. Ketika beroperasi, *Photovoltaic* menggunakan *inverter* sebagai konversi energi listrik DC (*Direct Current*) ke AC (*Alternating Current*).

Keandalan sistem tenaga listrik merupakan hal yang sangat penting untuk menghasilkan energi listrik yang efisien dan handal dari pembangkitan ke beban. Keandalan pada sistem secara keseluruhan ditetapkan oleh keandalan dari masing – masing komponen yang bekerja di dalamnya[2]. Untuk mengevaluasi tingkat keandalan diperlukan analisa dari beberapa indeks dari pembangkitan, yaitu *loss of load probability* (LOLP). Dari semua analisa tersebut maka akan diperoleh perhitungan untuk meminimalisasi Biaya Pokok Produksi yang selama ini

memiliki biaya yang cukup tinggi. Diharapkan dengan melakukan analisa ini dapat mengurangi biaya PT PLN (Persero) Distribusi Nusa Penida.

## **1.2 Perumusan Masalah**

Rumusan masalah yang akan dibahas dalam tugas akhir ini adalah:

1. Apakah pengaruh keandalan sistem tenaga listrik dengan adanya PLT *Hybrid* dapat tersalurkan dengan baik.
2. Apakah dapat meminimalisasi Biaya Pokok Produksi (BPP) PT. PLN (Persero) Distribusi Nusa Penida.

## **1.3 Batasan Masalah**

Batasan masalah pada tugas akhir ini adalah:

1. Beban diasumsikan sesuai data yang diberikan PT. PLN (Persero).
2. Pembangkitan terdiri dari Pembangkit Listrik Tenaga Diesel (PLTD), *Photovoltaic* (PLTS) beserta *Battery Storage* yang pola pembebanan telah ditentukan.
3. Asumsi harga diperoleh dari PT. PLN (Persero).

## **1.4 Tujuan**

Tujuan tugas akhir ini adalah:

1. Menganalisa pengaruh keandalan sistem tenaga listrik sebelum dan sesudah dikembangkannya PLT Hybrid.
2. Meminimalisasi Biaya Pokok Produksi.

## **1.5 Metodologi**

Metodologi yang digunakan adalah sebagai berikut:

1. Pengumpulan Data  
Pengumpulan data dilakukan untuk mendapatkan data-data yang diperlukan untuk keperluan tugas akhir. Ada dua jenis data, yaitu data primer dan data sekunder. Dalam topik ini, data yang

dibutuhkan adalah data kapasitas pembangkit, load forecasting dan biaya investasi serta operasional. Data didapatkan dari PT PLN (Persero) Distribusi Nusa Penida.

2. Studi Literatur

Studi literatur bertujuan untuk menambah wawasan dan pemahaman yang berkaitan dengan topik tugas akhir. Literatur dapat diperoleh dari paper, buku, tugas akhir, thesis, artikel ilmiah, internet, dan lain-lain. Teori penunjang yang dibutuhkan adalah *Photovoltaic*, *loss of load probability (LOLP)*,

3. Simulasi Sistem

Sistem akan disimulasikan menggunakan software WASP IV, yaitu membangkitkan bilangan acak dan memeriksa apakah sistem pembangkitan yang telah direncanakan memiliki indeks keandalan yang optimal.

4. Perhitungan Biaya Pokok Produksi

Setelah melakukan simulasi kita bisa mengetahui Biaya Pokok Produksi ketika sistem PLT Hybrid ini yang akan dikembangkan nantinya.

5. Analisis Data

Hasil simulasi akan dianalisis, apakah parameter yang diamati sudah sesuai seperti yang diinginkan atau belum. Parameter-parameter yang diamati adalah *loss of load probability (LOLP)*, dan Biaya Pokok Produksi dengan membandingkan sebelum dan sesudah dikembangkannya PLT *Hybrid*.

6. Penyusunan Laporan

Seluruh proses dan hasil yang didapatkan akan disusun menjadi tulisan ilmiah dalam bentuk Buku Tugas Akhir.

## 1.6 Sistematika Penulisan

Pada penyusunan dan pembahasan yang akan dilakukan pada Tugas Akhir ini, maka sistematika penulisan dibagi menjadi lima bab yang terdiri dari:

### 1. BAB 1 Pendahuluan

Pada bab ini dijelaskan tentang latar belakang, perumusan masalah dan batasan. Selain itu juga

membahas tujuan penelitian, metodologi, sistematika laporan, dan relevansi dari penelitian yang telah dilakukan.

**2. BAB 2 Dasar Teori**

Penjelasan tentang kurva durasi beban, indeks keandalan sistem kelistrikan dan biaya pokok produksi.

**3. BAB 3 Sistem Kelistrikan Tri Nusa**

Pada bab ini tentang penjelasan mengenai sistem kelistrikan Tri Nusa yang meliputi data beban, pembangkit dan perencanaan sistem tahun 2018-2027 sesuai dengan RUPTL, yang nantinya digunakan sebagai pemodelan dalam program WASP-IV untuk menyusun perencanaan pembangkit.

**4. BAB 4 Analisa Hasil dan Simulasi Sistem**

Pada bab ini akan dijelaskan tentang hasil perencanaan pembangkit PLT *Hybrid*, indeks keandalan dan perhitungan BPP (Biaya Pokok Produksi) dari PLT *Hybrid*.

**5. BAB 5 Penutup**

Pada bagian bab penutup, dibahas mengenai kesimpulan dan saran dari hasil simulasi.

## **1.7 Relevansi**

Relevansi dari tugas akhir ini adalah antara lain :

1. Menjadi referensi bagi peneliti lain yang ingin melakukan penelitian pada bidang yang sama.
2. Menjadi referensi untuk mahasiswa lain dalam mengerjakan tugas akhir jika memiliki topik yang sama.
3. Menjadi refrensi untuk perkembangan sistem pembangkit listrik *Renewable Energy* di masa depan.



## BAB 2 DASAR TEORI

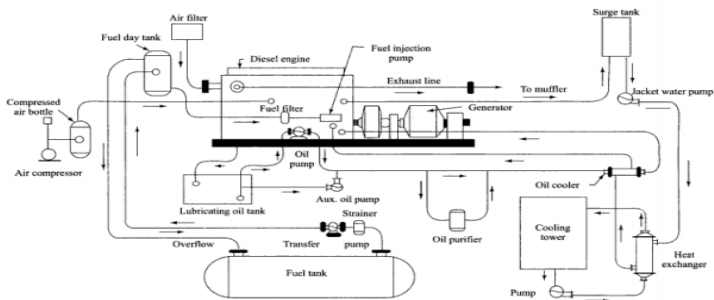
### 2.1 Pembangkit Listrik Tenaga Diesel (PLTD)

#### 2.2.1 Penjelasan Secara Umum

Pembangkit listrik tenaga diesel adalah jenis pembangkit listrik yang menggunakan minyak bumi yang berupa solar sebagai sumber energinya untuk memenuhi kebutuhan energi listrik. Dimana mesin diesel ini berupa ruang pembakaran yang ledakannya menggerakkan *piston* yang selanjutnya poros engkol diubah menjadi energi gerak. Energi gerak yang dihasilkan nantinya akan digunakan memutar rotor generator yang dikonversikan menjadi energi listrik.

Pada aplikasinya, PLTD biasanya digunakan untuk memenuhi beban puncak sebagai pembangkitan utamanya. Sehingga dibutuhkan perawatan yang tinggi untuk menjamin keandalannya. Selain itu PLTD yang berfungsi sebagai *standby unit* atau cadangan ketika unit pembangkit utama tidak dapat beroperasi akibat beban yang maksimal [3].

Adapun berdasarkan referensi [4], PLTD memiliki beberapa kelebihan yaitu desain dan instalasi yang simpel, dapat *starting* dengan cepat ketika dimuat beban sehingga merespon dengan berbagai beban tanpa kesulitan. Selain itu dapat meminimalisasi pendingin air yang dibutuhkan dibandingkan dengan Pembangkit Listrik Tenaga Air (PLTA) yang membutuhkan biaya yang tinggi untuk investasinya. Tetapi PLTD memiliki kekurangan diantaranya, biaya pemeliharaan dan operasi yang tinggi sehingga reabilitas dari pembangkit tersebut tidak bisa bertahan



Gambar 2.1 Sistematika PLTD

lama, tingkat kebisingan yang tinggi dan memiliki emisi yang tidak higienis yang dapat memberikan tingkat polusi yang sangat signifikan sehingga berdampak negatif bagi lingkungan sekitar.

### 2.1.2 Prinsip Kerja PLTD secara umum

Pada gambar diatas merupakan skema pengaturan dari PLTD. Secara umum, skema diatas dapat dijelaskan sebagai berikut:

*Engine* merupakan komponen utama untuk memutar generator yang kemudian menghasilkan listrik yang dihubungkan ke trafo dan gardu listrik. Untuk melakukan pembakaran agar dapat memberikan hasil yang optimal pada *engine*, maka dibutuhkan oksigen dari udara pada lingkungan sekitar. Sehingga peran air filter yang fungsinya untuk menyaring udara yang masuk ke *engine*. *Heat exchanger* adalah sistem pendingin minyak pelumas, dimana air digunakan sebagai sarana pendingin.

### 2.1.3 Jenis Bahan Bakar

Jenis bahan bakar yang digunakan PLTD secara umum dibagi menjadi dua yaitu *High Speed Diesel* (HSD) dan *Marine Fuel Oil* (MFO).

- a) *High Speed Diesel* (HSD) merupakan jenis dollar yang memiliki angka oktan 45, bahan bakar ini umumnya digunakan untuk mesin diesel yang umum dipakai dengan sistem injeksi pompa mekanik (*injection pump*) dan *electronic injection* [5].
- b) *Marine Fuel Oil* (MFO) merupakan hasil penyulingan minyak bumi yang dihasilkan setelah residu dan sebelum aspal. Yaitu minyak bakar yang bukan merupakan hasil destilasi tetapi hasil dari jenis residu yang berwarna hitam. Pada minyak jenis ini memiliki karakteristik yang kekentalan yang tinggi dibandingkan dengan minyak diesel pada umumnya [5]. Menurut segi ekonominya, penggunaan minyak MFO dinilai lebih murah dari bahan bakar HSD.

### 2.1.4 Konsumsi Bahan Bakar PLTD

Dalam skala penggunaan bahan *specific* (SFC) merupakan pemakaian bahan bakar yang diperoleh untuk membangkitkan setiap satuan tenaga listrik.

$$SFC = \frac{\text{Pemakaian bahan bakar per periode}}{\text{kWh produksi}} \text{ (Liter/kWh)} \quad (2.1)$$

### 2.1.5 Faktor Kapasitas (*Capacity Factor*)

Faktor kapasitas adalah perbandingan antara tenaga listrik yang diproduksi bruto dengan daya terpasang dan jumlah pada periode tertentu.

$$CF = \frac{\text{Jumlah produksi kWh bruto}}{\text{Kapasitas terpasang SPD (kW) x 8760 jam}} \quad (2.2)$$

Dimana faktor kapasitas standart PLN untuk PLTD berkisar antara 55-65%.

## 2.2 Pembangkit Listrik Tenaga Surya (*Photovoltaic*)

### 2.2.1 Penjelasan Secara Umum

Panel Surya atau *Photovoltaic* adalah alat yang dapat mengkonversikan cahaya matahari menjadi energi listrik. Cahaya matahari nantinya dapat berupa foton. Ketika foton menyentuh bagian sel surya, elektronnya akan tereksitasi dan menghasilkan energi listrik. Dalam pembahasan ini, dikenal sebagai prinsip fotoelektrik.

*Photovoltaic* terbuat dari bahan semikonduktor, pada umumnya yang sering digunakan adalah bahan silikon, yang memiliki sifat konduksi maupun isolasi. Dalam kinerja panel surya ini yang terdiri bahan silikon, yang berpengaruh adalah temperature dan intensitas cahaya matahari yang menyentuh bagian *photovoltaic*. Sehingga nantinya akan menghasilkan arus listrik yang berbanding lurus dengan jumlah intensitas cahayanya [6].

### 2.2.1 Rangkaian Ekuivalen *Photovoltaic*

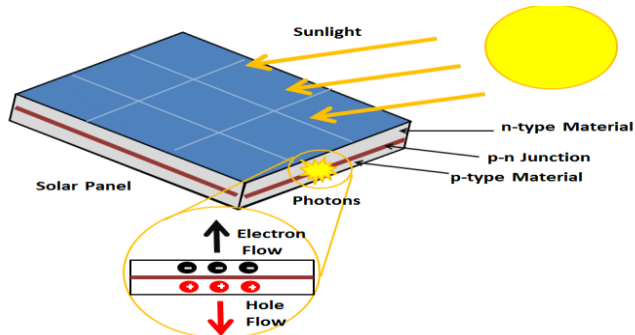
Rangkaian ekuivalen *photovoltaic* sel surya dapat direpresentasikan sebagai sumber arus ideal, diode (dengan sisi n pada bagian atas dan sisi p pada bagian bawah), resistansi paralel dan seri. Resistansi seri dan paralel merepresentasikan nilai tegangan jatuh sepanjang sampai kontak terminal luar dan arus bocor sepanjang jalur sel [6].

Berdasarkan operasinya *Photovoltaic* terdiri dari dua macam, yaitu sistem *Stand – Alone* dan *Grid – Connected* [1].

#### a) Sistem *Stand – Alone*

Pada sistem *stand – alone*, ketika radiasi sinar matahari memiliki intensitas cahaya yang sangat kecil, sistem ini diharuskan untuk

terintegrasi dengan baterai agar energi listrik yang dihasilkan tetap optimal dan beban dapat tersuplai dengan baik. Namun apabila radiasi sinar matahari mencukupi, maka baterai tidak terlalu dibutuhkan sehingga beban tersuplai langsung dengan *photovoltaic*.

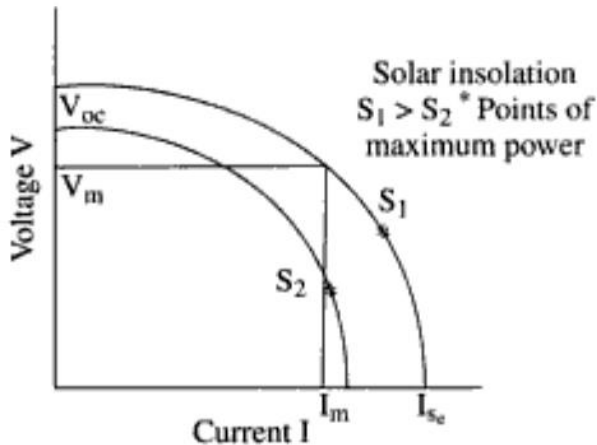


**Gambar 2.2** Skema *Photovoltaic*

b) Sistem *Grid – Connected*

Pada sistem *Grid – Connected*, *photovoltaic* mempunyai koneksi grid melalui *inverter*. Dikarenakan daya listrik yang dihasilkan berupa DC (*Direct Current*) butuh dikonversikan terlebih dahulu ke AC (*Alternating Current*) agar bisa disuplai menuju beban. Menurut jenisnya, sistem grid dibagi menjadi dua yaitu sistem *grid – connected* terpusat dan sistem *grid – connected* tidak terpusat [7].

Dalam sistem *grid – connected* terpusat, *photovoltaic* dapat mensuplai daya listrik secara langsung menuju *grid*. Sedangkan *grid – connected* tidak terpusat, baterai yang digunakan tidak terlalu dibutuhkan. Apabila sinar matahari telah mencukupi maka energi listrik secara langsung dapat disalurkan menuju beban. Namun ketika sinar matahari tidak mencukupi, maka *photovoltaic* tidak dapat membangkitkan energi listrik sehingga suplai energi listrik diperoleh dari *grid*.



**Gambar 2.3** Karakteristik Performa dari Panel Surya Silikon

Karakteristik tegangan dan arus terdapat pada gambar diatas pada 2 perbedaan tingkat *solar radiation*.

$$V_{max} = V_{oc} \cdot I_{sc} \quad (2.3)$$

$V_{oc}$  = tegangan rangkaian terbuka

$I_{sc}$  = arus hubung singkat.

Berdasarkan referensi [8], adapun rumus untuk menghitung energi yang keluar dari instalasi *photovoltaic*.

$$E = A \cdot r \cdot H \cdot PR \quad (2.4)$$

E = Energi daya listrik (kWh)

A = Total luas panel area ( $m^2$ )

r = rasio efisiensi panel

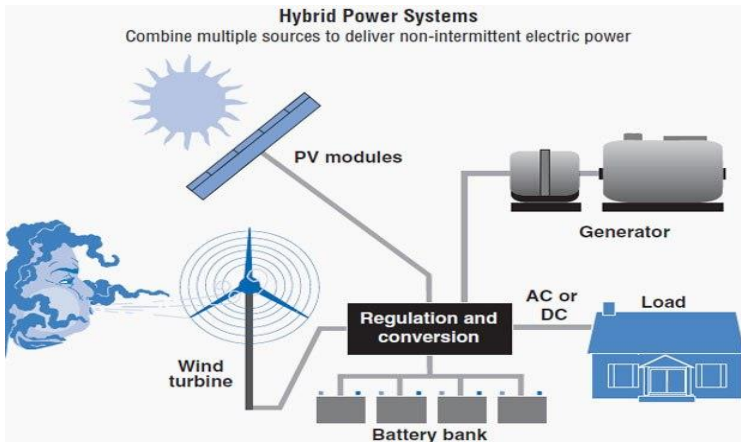
H = radiasi matahari rata-rata tahunan pada panel

PR = Rasio performa, koefisien untuk rugi-rugi (berkisar antara 0.5 dan 0.9, umumnya = 0.75)

### 2.2.2 Instalasi *Photovoltaic*

Pada jenis instalasinya, *photovoltaic* dapat dikategorikan menjadi dua macam yaitu:

#### A. *Photovoltaic* untuk *Standalone Hybrid Power System*



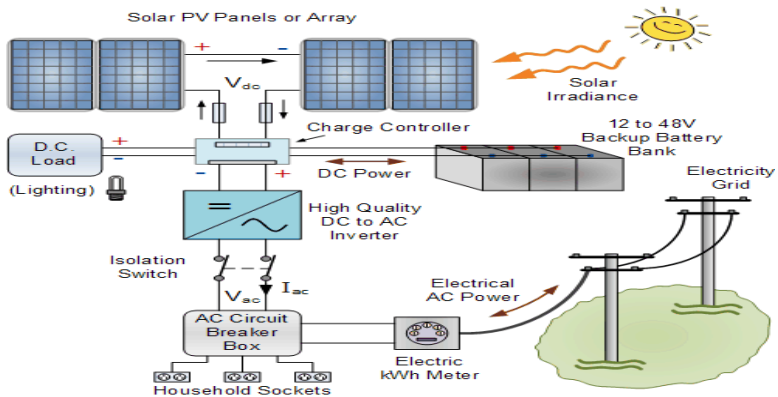
**Gambar 2.4** Sistem PV untuk *Standalone Hybrid Power System*

Dalam sistem ini, *photovoltaic* dapat interkoneksi dengan baterai sebagai media penyimpanan energi listrik yang saat ini banyak digunakan terutama pada sistem energi terbarukan. Adapun penggunaannya seperti pada *handphone*, laptop dan lain-lain. Pada baterai mempunyai keunggulan, diantaranya mempunyai kerapatan energi yang tinggi. Pada PLT Hybrid, baterai digunakan untuk mensuplai beban ketika tidak tersedianya sinar matahari atau daya yang dihasilkan dari *Photovoltaic* tidak terlalu kecil [9]. Selain itu dibutuhkan pula inverter yang digunakan untuk mengkonversikan tegangan DC (*Direct Current*) menjadi tegangan AC (*Alternating Current*).

#### B. *Photovoltaic* untuk sistem yang terhubung grid PLN

Pada sistem *photovoltaic* yang terhubung jaringan listrik (on grid system) dapat berupa menggunakan media penyimpanan seperti baterai.

Baterai ini difungsikan sebagai menjaga sistem tegangan pada inverter dapat menjadi handal dan konstan. Akan tetapi pada saat ini sebagian besar tidak menggunakan baterai. Karena dapat diatur sesuai dengan kontrol inverternya.



**Gambar 2.5** Sistem PV terhubung grid PLN

### 2.2.3 Keadaan Estimasi dari *Photovoltaic*

Kegagalan sistem *Photovoltaic* tergantung setiap komponennya. Kegagalan yang paling dominan dari setiap kegagalan komponen adalah inverter. Kegagalan rata-rata untuk inverter adalah 0,1 kegagalan/tahun, sedangkan *Photovoltaic* adalah 0,04 kegagalan/tahun sesuai dengan spesifikasi pabrik [10].

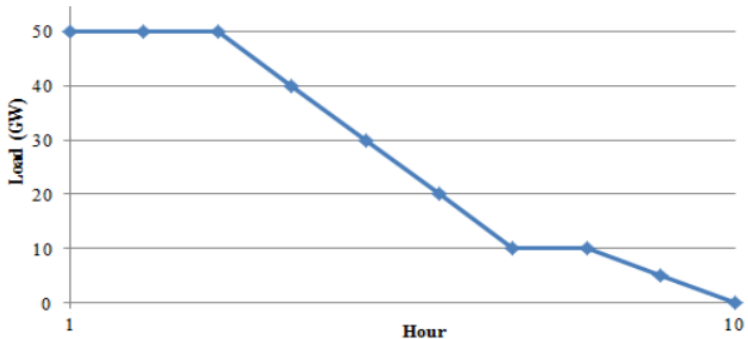
## 2.3 Beban Listrik

### 2.3.1 Kurva Beban Harian (*Load Duration Curve*)

Beban adalah komponen terpenting yang harus dipenuhi dalam sistem tenaga listrik. Kemampuan pembangkit tenaga listrik hal utama untuk memenuhi permintaan beban konsumen yang berubah-ubah yang dijadikan patokan sebagai indeks keandalan suatu sistem tenaga listrik. Berdasarkan waktu maupun durasinya, beban dapat diklasifikasikan menjadi 3 macam, yaitu beban dalam harian, mingguan maupun tahunan.

### 2.3.2 Kurva Lama Beban

Kurva beban ini merupakan nilai beban harian yang diurutkan berdasarkan nilai terbesar hingga nilai beban terkecil, luas daerah dibawah kurva merupakan permintaan suatu pembangkit sistem tenaga listrik yang harus dipenuhi.



**Gambar 2.6** Load Duration Curve (LDC)

Kurva lama beban atau LDC diharapkan dapat menentukan indeks pembangkit yang diperlukan dari setiap karakteristik berbeda-beda untuk memenuhi beban dari setiap periode yang direncanakan. Sehingga mempengaruhi hasil dari perhitungan keandalan sistem pembangkit, jumlah energi yang dihasilkan dan menentukan biaya pokok produksi.

### 2.4 Karakteristik Perencanaan Pembangkit Listrik

Pada setiap pembangkit mempunyai karakteristik yang berbeda menurut kurva input dan outputnya, yang merupakan nominal dari masukan sistem pembangkit tersebut kepada keluaran beban. Dalam menentukan Rp/Kwh suatu pembangkit harus dianalisa terlebih dahulu dalam beberapa indikator.

Karakteristik pembangkit termal dapat diklasifikasikan yaitu:

- Kapasitas Unit (MW)
- Tahun mulai beroperasi
- Umur Ekonomis
- Pembebanan minimum (%)
- Heat Rate (kCal/kWh)
- Harga bahan bakar (\$/juta kCal)



- g. Fixed O&M cost (\$/kW-tahun)
- h. *Variable O&M Cost* (\$/kWh)
- i. *Forced Outage Rate* (%)
- j. Lama Perawatan (hari/tahun)

Selain itu adapun pembangkit *renewable energy* yang memiliki identifikasi karakteristik sebagai berikut:

- a. Kapasitas terpasang (MW)
- b. Inflow energi per periode (Gwh)
- c. Produksi minimum per periode (Gwh)
- d. Kapasitas tersedia rata-rata periode (MW)
- e. Kapasitas storage (Gwh)

Dalam pemilihan jenis pembangkit dapat berpengaruh terhadap pengoperasian dan biaya investasi yang efektif sehingga dapat meminimalisasi biaya pokok produksi (Rp/kWh).

## 2.5 Biaya dan Optimasi Pembangkit Listrik

Dalam klasifikasi berdasarkan biaya pembangkitannya dibagi menjadi 2 macam, yaitu:

- a. Biaya tetap (*Fixed Cost*)  
Merupakan biaya pembangkit yang sifatnya tetap, yang dimaksudkan meliputi biaya administrasi, bunga, modal dan biaya operasi dan pemeliharaan yang dinyatakan dalam Rp/kW atau \$/kW.
- b. Biaya Variable (*Variable Cost*)  
Merupakan biaya yang sifatnya tidak konstan dan bergantung pada produksi unit pembangkit kWh unit pembangkit tersebut, sehingga bersifat dinamis seperti bahan bakar maupun biaya pemeliharaan unit ketika beroperasi yang dinyatakan dalam Rp/kWh atau \$/kWh.

Adapun biaya *capital cost* atau biaya modal dalam mengembangkan suatu pembangkit baru, yang terdiri dari biaya konstruksi (\$/kW) ditambah *financial cost* sehingga nantinya dapat dimasukkan dalam biaya tetap (*Fixed Cost*).

Selain itu dalam penentuan biaya harga jual energi listrik dapat dibagi menjadi 4 komponen yaitu:

- a. **Komponen Modal (Komponen A)**  
Merupakan biaya investasi dalam perencanaan mengembangkan suatu pembangkit. Terdiri dari biaya konstruksi seperti biaya pekerjaan sipil, biaya pembelian generator, pembelian turbin, dan lain-lain.
- b. **Komponen Tetap Operasi dan Pemeliharaan (Komponen B)**  
Merupakan biaya tetap operasi dan pemeliharaan (O&M) yang dikeluarkan untuk operasi dan *maintenance* pembangkit seperti gaji pegawai, biaya administrasi, biaya manajemen, dan lain-lain.
- c. **Biaya Bahan Bakar (Komponen C)**  
Merupakan biaya yang tidak tetap berupa bahan bakar dalam suatu pembangkit.
- d. **Biaya Variabel Operasi dan Pemeliharaan (Komponen D)**  
Merupakan biaya operasi dan pemeliharaan (O&M) yang bersifat variabel, seperti contohnya penggantian sparepart. Semakin tinggi kerja pembangkit semakin meningkat biaya komponen D.

## **2.6 Keandalan Sistem Pembangkit Tenaga Listrik**

Keandalan sistem tenaga listrik merupakan indikator penting dalam proses penyaluran energi listrik dari pembangkit menuju ke beban [2]. Suatu sistem dapat apabila dapat menyalurkan dengan baik dan tidak ada gangguan yang sesuai dengan fungsinya. Untuk itu, keandalan suatu sistem dapat ditentukan dari komponen-komponen peralatan tersebut yang terjadi didalamnya. Adapun beberapa indikator yang menentukan keandalan dari sebuah sistem, yaitu peluang (probabilitas), sistem, waktu, tidak gagal dan kondisi operasi.

Adapun pengertian keandalan terdiri dari probabilitas, fungsi, waktu dan lingkungan. Dalam probabilitas, keandalan dapat didefinisikan sebagai peluang yang dapat berubah berdasarkan waktu yang berhubungan dengan analisis statistik. Untuk segi fungsi, keandalan suatu sistem ditinjau dari komponen-komponen peralatan yang bekerja didalamnya. Sehingga dapat melaksanakan sesuai dengan fungsinya. Selanjutnya dalam segi waktu, keandalan suatu sistem dapat ditinjau dari waktu. Apabila waktu yang dihasilkan semakin bertambah, maka sistem yang dihasilkan mengalami penurunan. Faktor ini dikarenakan apabila waktu operasional berjalan dengan lama maka probabilitas akan menjadi

tinggi. Untuk segi lingkungan, keandalan suatu sistem dapat dipengaruhi oleh lingkungan yang ada disekitarnya. Sehingga kondisi lingkungan ini dapat mempengaruhi performa komponen yang bekerja.

Dalam konsep keandalan suatu sistem, dibutuhkan penyebab dari suatu kegagalan pada suatu peralatan dimana tidak dapat bekerja secara maksimal sesuai kegunaannya. Maka dari itu, konsep dari keandalan terdiri dari beberapa faktor, yaitu kegagalan, penyebab kegagalan, mode kegagalan dan mekanisme kegagalan. Ada beberapa penyebab yang membuat adanya kegagalan tersebut seperti komponen yang rusak, cuaca dan *lifetime* komponen. Untuk mengetahui tingkat keandalan suatu sistem, dibutuhkan evaluasi yang terdiri dari perencanaan, desain dan pengoperasian sistem. Sehingga dibutuhkan pengumpulan data pembangkit dan evaluasi dari kinerja dari komponen yang telah didesain. Oleh karena itu, diperlukannya jumlah pemadaman dari setiap pembangkitan seperti generator pada periode tertentu menjadi faktor penting bagi keandalan tersebut.

### 2.6.1 Indeks keandalan suatu pembangkit

Di dalam dasar parameter unit pembangkitan digunakan dalam unit yang terjadi gangguan dalam beberapa waktu yang akan datang. Dalam probabilitas ini didefinisikan dalam unit yang disebut *unavailability*, dalam aplikasi sistem tenaga listrik dikenal dengan *forced outage rate* (FOR), dapat dihitung probabilitas kapasitas outage kumulatif dengan menghitung probabilitas kapasitas outage individunya terlebih dahulu, kemudian baru didapatkan perhitungan probabilitas kehilangan beban [11]. Untuk mengetahui sering tidaknya pembangkit yang mengalami gangguan dapat dihitung sebagai berikut:

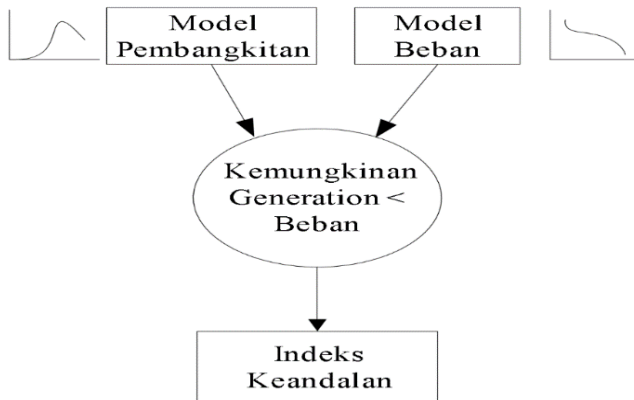
$$\text{Unavailability (FOR)} = \frac{\lambda}{\lambda + \mu} \quad (2.5)$$

$\lambda$  = Jumlah jam unit terganggu.

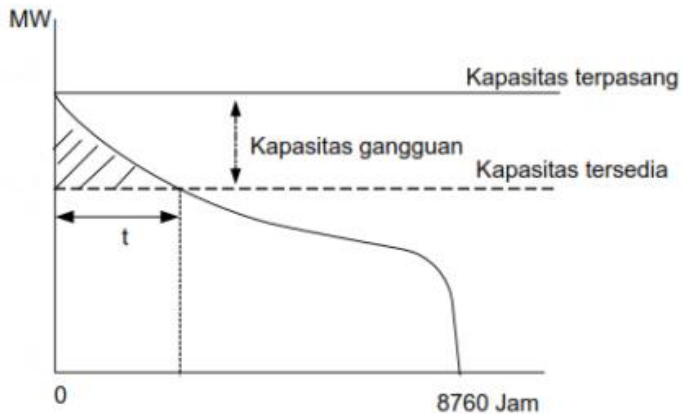
$\mu$  = Jumlah jam unit yang beroperasi

### 2.6.2 LOLP (*Loss of Load Probability*)

Indeks LOLP dihitung dengan menjumlahkan lama waktu beban yang tidak terlayani pada semua kemungkinan dalam kurun waktu tertentu [12]. Indeks dapat dihitung dengan menggunakan persamaan berikut:



**Gambar 2.7** Diagram proses output dan input penentuan keandalan



**Gambar 2.8** LDC, kapasitas terpasang dan tersedia

Sehingga menurut refrensi [2] dapat dirumuskan menjadi:

$$LOLP = \sum_{k=1}^n P_k(C_k - L_k) \text{ days/period} \quad (2.6)$$

$C_k$  = Kapasitas tersedia pada hari ke  $i$

$L_k$  = Perkiraan beban puncak pada hari ke  $i$

$P_k(\text{Ck-Lk}) = \text{Probalitas Loss of load pada hari ke } i$

Sesuai memperhatikan gambar 2.8 kapasitas daya terpasang dikurangi kapasitas gangguan maka kapasitas daya yang tersedia memotong kurva LDC sehingga terdapat beban yang tidak dapat terpenuhi selama  $t$  dari LOLP dapat dihitung menggunakan  $(t_k)$  waktu loss of load dan ketersediaan kapasitas outage individu ( $P_k$ ) dengan persamaan:

$$\text{LOLP} = \sum_{k=i}^n p_k(t_k) \text{ days/period} \quad (2.7)$$

Persamaan dapat dimodifikasi dengan mengubah nilai indeks ketersediaan kumulatif ( $p_k$ ) dan menentukan selisih waktu *loss of load* ( $t_k - t_{k-1}$ ).

$$\text{LOLP} = \sum_{k=i}^n p_k(t_k - t_{k-1}) \text{ days/period} \quad (2.8)$$

Pada dasarnya hasil dari LOLP dipengaruhi oleh nilai kumulatif individu  $p_k$  dan  $t_k$ , semakin tinggi  $t_k$  maka waktu pemadaman semakin besar sehingga mempengaruhi nilai indeks keandalan sistem yang semakin buruk.

*(Halaman ini sengaja dikosongkan)*

## **BAB 3**

# **SISTEM KELISTRIKAN TRI NUSA DAN MODEL PERENCANAAN**

Pada bab ini akan membahas sistem kelistrikan Tri Nusa yang didapatkan dari data-data PT. PLN (Persero) dan perencanaan pembangkitan dari kondisi beban yang tercantum pada RUPTL 2018-2027. Selain itu, mengetahui pemodelan sistem yang akan dikembangkan dalam perencanaan nantinya berdasarkan data-data yang diperoleh dari beberapa program, lalu nilai pemadaman dari pembangkitan dalam tahun 2018 untuk menentukan FOR dan asumsi harga yang telah dicantumkan PLN dalam merencanakan pembangkit PLT *Hybrid*.

### **3.1 Kondisi Sistem Kelistrikan Tri Nusa**

Pulau Tri Nusa terdiri dari 3 daerah yaitu Nusa Penida, Nusa Ceningan dan Nusa Lembongan. Dalam mensuplai energi listrik ke konsumen, PT. PLN (Persero) Distribusi Nusa Penida Bali sangat mengandalkan PLTD sebagai energi pembangkit utamanya. Selain itu kondisi Tri Nusa sangat berpotensi untuk kemajuan pariwisata Bali, sehingga kemungkinan dapat berpengaruh pada beban yang meningkat setiap tahunnya sebesar 10% pada data yang tercantum dalam RUPTL 2018-2027. Untuk itu, Tri Nusa sangat berpotensi untuk dikembangkannya pembangkit listrik *renewable energy* berbasis PLTS dan Baterai.

#### **3.1.1 Sistem Pembangkit Tri Nusa**

Pada tabel dibawah ini merupakan data pembangkitan yang berada di Pulau Tri Nusa. Terdiri dari 3 pembangkit yaitu PLTD, PLT Bayu dan PLTS.

Kapasitas dan daya mampu pembangkit sistem kelistrikan yang bersifat *isolated* Tiga Nusa disuplai oleh PLTD Kutampi yang beroperasi selama 24 jam sehari dengan rincian mesin sewa 6 MW ditambah 1,4 MW mesin milik PLN dengan bahan bakar minyak diesel (HSD). Tahun 2019 ini, PLTD sewa tersebut akan diganti dengan mesin pembangkit sewa PLTD MFO 10 MW yang terdiri dari 7 unit dengan masing-masing unit mampu mensuplai daya sebesar 1,429 MW, dimana nantinya

menonaktifkan mesin milik PLN sendiri yang berkapasitas 1,4 MW yang dijadikan sebagai cadangan apabila mengalami kerusakan.

Adapun Pembangkit EBT seperti PLT Bayu, yang saat ini tidak dapat mensuplai daya menuju beban karena mengalami kerusakan. Sedangkan PLTS saat ini terdapat dua buah yang salah satunya mengalami kerusakan. Maka dari itu, salah satu dari PLTS tersebut hanya mensuplai 32 kW yang merupakan pemberian dari kementerian ESDM.

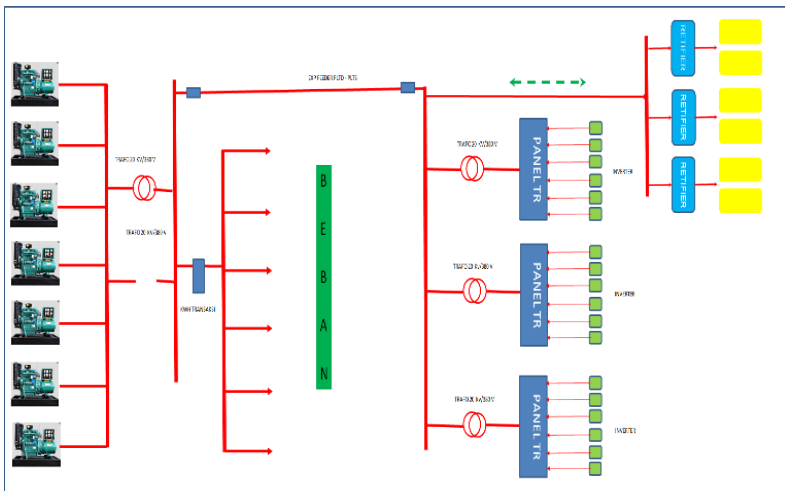
**Tabel 3.1** Data Pembangkit Tri Nusa

No	LOKASI	MESIN					
		MEREK	TYPE	NOMOR PABRIK	DAYA		
					TERPASANG (kW)	MAMPU (kW)	
1	PLTD KUTAMPI (COGINDO)	1	HYUNDAI	9H21/32	BF1803	1.700	1.429
		2	HYUNDAI	9H21/32	BF1804	1.700	1.429
		3	HYUNDAI	9H21/32	BF1805	1.700	1.429
		4	HYUNDAI	9H21/32	BF1806	1.700	1.429
		5	HYUNDAI	9H21/32	BF1815	1.700	1.429
		6	HYUNDAI	9H21/32	BF1816	1.700	1.429
		7	HYUNDAI	9H21/32	BF1817	1.700	1.429
<b>JUMLAH PLTD</b>		<b>7</b>				<b>11.900</b>	<b>10.003</b>



### 3.2 Pemodelan dan Perencanaan Sistem Pembangkit

Prinsip kerja dari PLT Hybrid Tri Nusa secara garis besar adalah memanfaatkan sumber energi listrik yang dihasilkan oleh Panel Surya (*Photovoltaic*) pada siang hari akan disimpan dalam baterai dan langsung menyuplai beban bersama dengan PLTD milik PLN yang terinterkoneksi. Proses pengisian energi listrik dari PV Modul ke battery storage diatur oleh *solar charge controller* agar tidak terjadi *over charge*. Besar energi yang dihasilkan oleh PV sangat tergantung pada radiasi atau intensitas penyinaran matahari yang diterima oleh PV Modul dan efisiensi panel tersebut.



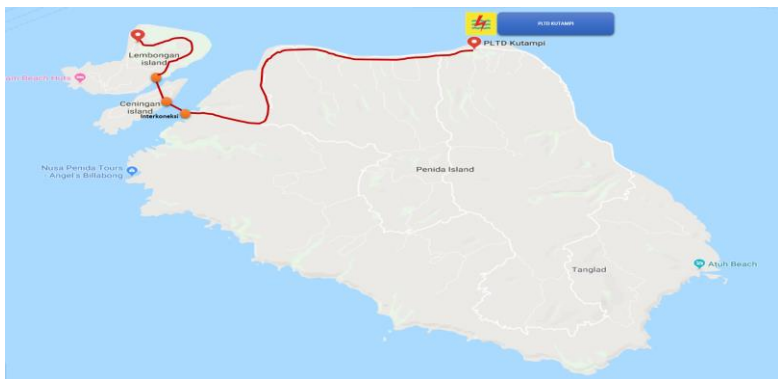
**Gambar 3.1** Skema Perencanaan Pembangkit PLT *Hybrid*

PLT Hybrid Tri Nusa yang direncanakan berkapasitas 10 MW<sub>p</sub>, dengan kapasitas baterai sebesar  $\pm 10$  MWh dan sebuah inverter kapasitas 10 MW yang akan tersambung ke sistem kelistrikan Tri Nusa melalui busbar 20 kV di PLTD Tiga Nusa seperti yang ditunjukkan pada **Gambar 3.1**.

Sistem kelistrikan wilayah Tri Nusa dalam suplai energi listrik dari pembangkitan menuju beban, menggunakan jaringan distribusi drngan topologi radial dan terisolasi dari sub sistem Bali, dimana tegangan operasi sistem Tiga Nusa dioperasikan pada level tegangan 20 kV dengan mutu tegangan masih dalam batas toleransi. Untuk

memberikan suplai daya menuju konsumen, PT. PLN (Persero) Distribusi Nusa Penida mengutamakan PLTD sebagai sumber pembangkitannya. Hal ini dapat tidak mencukupi dimana Pulau Tri Nusa merupakan daerah wisata mandiri yang terus berkembang seiring bertambahnya wisatawan untuk berkunjung ke pulau tersebut. Maka dari itu, pulau ini sangat potensial untuk mengembangkan pembangkit *Renewable Energy* untuk memenuhi kebutuhan listrik yang terus meningkat kedepannya.

### 3.2.1 Rencana Lokasi PLT Hybrid

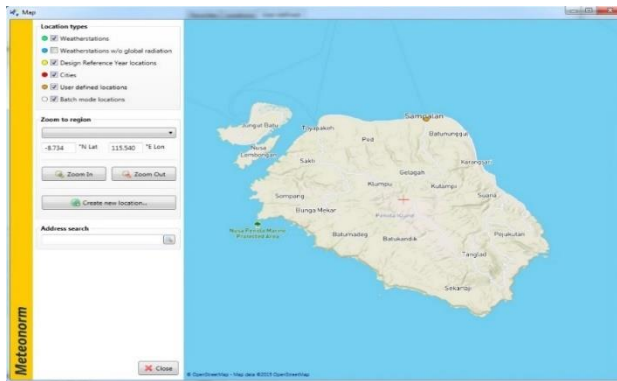


**Gambar 3.2** Lokasi PLT *Hybrid* Tri Nusa

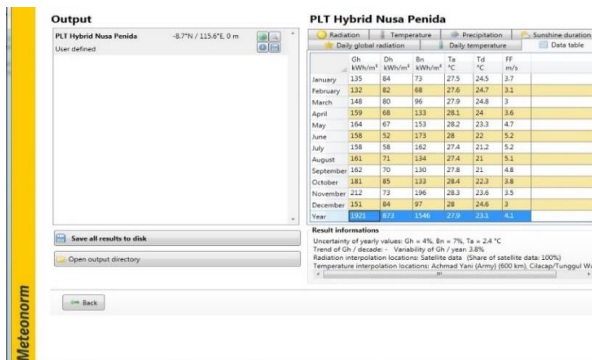
Pada gambar diatas merupakan rencana lokasi PLT Hybrid Pulau Tri Nusa yang berada pada koordinat :  $-8.676076^{\circ}$ ,  $115.554001^{\circ}$  dan luas area yang dibutuhkan adalah sekitar  $100.000 m^2$ , dengan harga per  $100 m^2$  pada daerah tersebut berkisar antara 7,5 juta sampai dengan 15 juta. Rencana lokasi tersebut terletak di dekat PLT Bayu sekitar 9 km dari PLTD Kutampi.

### 3.2.2 Data Potensi Energi Sinar Matahari atau Energi Surya di Pulau Nusa Penida

Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) atau *Photovoltaic* memanfaatkan energi sinar matahari dalam menghasilkan energi listrik. Namun setiap wilayah memiliki karakteristik intensitas cahaya matahari yang berbeda menurut titik koordinatnya seperti yang ditunjukkan pada **Gambar 3.3**. Dengan bantuan program *Meteonorm* yang disimulasikan oleh PLN didapatkan intensitas cahaya matahari selama setahun dengan mengoptimalkan daya  $G_h$  kWh/m<sup>2</sup> dari setiap bulannya, yang kemudian penjumlahan dari setahun dapat dibagi dengan jumlah hari dalam setahun yaitu 365 yang didapatkan hasil pembagiannya sebesar 5.263 kWh/m<sup>2</sup> dalam satu hari seperti yang ditunjukkan pada **Gambar 3.4** dibawah ini.



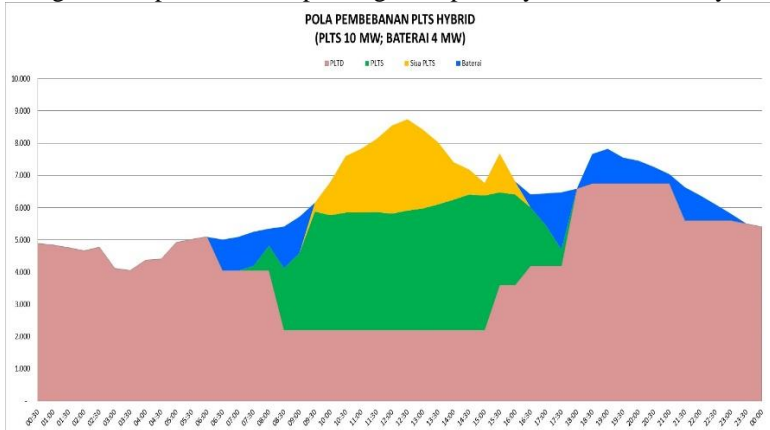
**Gambar 3.3** Mengkonfigurasi perencanaan titik koordinat pembangkit



**Gambar 3.4** Output intensitas energi yang dihasilkan cahaya matahari

### 3.2.3 Pola Operasi Sistem

PLT Hybrid Tri Nusa adalah sebuah sistem pembangkit berbasis *renewable energy* atau Energi Baru dan Terbarukan (EBT) yang didalamnya terdapat beberapa sumber energi seperti *photovoltaic*, baterai dan inverter serta PLTD MFO yang terinterkoneksi yang difungsikan sebagai backup. Berikut ini pembagian suplai daya beserta waktunya:



**Gambar 3.5** Kurva Pola Pembebanan

**Tabel 3.2** Pola pembebanan per waktu

Waktu	PLTD (kW)	PLTS (kW)	Sisa PLTS (kW)	Baterai (kW)
00.30	4.892	0	0	0
01.00	4.838	0	0	0
01.30	4.763	0	0	0
02.00	4.666	0	0	0
02.30	4.784	0	0	0
03.00	4.115	0	0	0
03.30	4.061	0	0	0
04.00	4.385	0	0	0
04.30	4.406	0	0	0
05.00	4.925	0	0	0
05.30	5.022	0	0	0
06.00	5.098	0	0	0

**Tabel 3.2** Pola pembebanan per waktu (lanjutan)

<b>Waktu</b>	<b>PLTD (kW)</b>	<b>PLTS (kW)</b>	<b>Sisa PLTS (kW)</b>	<b>Baterai (kW)</b>
06.30	4.050	0	0	961
07.00	4.050	0	0	1.037
07.30	4.050	149	0	1.050
08.00	4.050	774	0	533
08.30	2.200	1.929	0	1.293
09.00	2.200	2.400	0	1.124
09.30	2.200	3.686	264	0
10.00	2.200	3.567	1.033	0
10.30	2.200	3.643	1.751	0
11.00	2.200	3.643	1.986	0
11.30	2.200	3.664	2.273	0
12.00	2.200	3.610	2.735	0
12.30	2.200	3.708	2.841	0
13.00	2.200	3.783	2.440	0
13.30	2.200	3.913	1.901	0
14.00	2.200	4.042	1.163	0
14.30	2.200	4.204	776	0
15.00	2.200	4.183	386	0
15.30	3.600	2.869	1.215	0
16.00	3.600	2.804	410	0
16.30	4.200	1.806	0	399
17.00	4.200	1.247	0	1.000
17.30	4.200	509	0	1.761
18.00	6.588	0	0	0
18.30	6.750	0	0	907
19.00	6.750	0	0	1.080
19.30	6.750	0	0	810
20.00	6.750	0	0	702
20.30	6.750	0	0	518
21.00	6.750	0	0	281
21.30	5.600	0	0	1.042
22.00	5.600	0	0	783
22.30	5.600	0	0	513
23.00	5.600	0	0	221

**Tabel 3.2** Pola pembebanan per waktu (lanjutan)

<b>Waktu</b>	<b>PLTD (kW)</b>	<b>PLTS (kW)</b>	<b>Sisa PLTS (kW)</b>	<b>Baterai (kW)</b>
23.30	5.508	0	0	0
24.00	5.400	0	0	0
<b>Total</b>	<b>203.151</b>	<b>60.133</b>	<b>21.174</b>	<b>16.015</b>

### **3.3 Pola dan Perkiraan Beban Puncak**

Berdasarkan data beban puncak yang diambil pada bulan Oktober 2018, yang tertinggi adalah pukul 19.00 sebesar 7830 kVA. Untuk lebih jelasnya dapat dilihat pada **Tabel 3.3**.

**Tabel 3.3** Beban Puncak Oktober 2018

<b>Waktu</b>	<b>Beban Puncak (kW)</b>
00.30	4.892
01.00	4.838
01.30	4.763
02.00	4.666
02.30	4.784
03.00	4.115
03.30	4.061
04.00	4.385
04.30	4.406
05.00	4.925
05.30	5.022
06.00	5.098
06.30	5.011
07.00	5.087
07.30	5.249
08.00	5.357
08.30	5.422
09.00	5.724
09.30	5.886
10.00	5.767

**Tabel 3.3** Beban Puncak Oktober 2018 (lanjutan)

<b>Waktu</b>	<b>Beban Puncak (kW)</b>
10.30	5.843
11.00	5.843
11.30	5.864
12.00	5.810
12.30	5.908
13.00	5.983
13.30	6.113
14.00	6.242
14.30	6.404
15.00	6.383
15.30	6.469
16.00	6.404
16.30	6.404
17.00	6.448
17.30	6.469
18.00	6.588
18.30	7.657
19.00	7.830
19.30	7.560
20.00	7.452
20.30	7.268
21.00	7.031
21.30	6.642
22.00	6.383
22.30	6.113
23.00	5.821
23.30	5.508
00.00	5.400

Menurut Rancangan Usaha Penyediaan Tenaga Listrik (RUPTL) tahun 2018-2027 PT PLN (Persero) Distribusi Nusa Penida, rata-rata pertumbuhan penjualan energi selama 10 tahun sekitar 5.65%. Sedangkan untuk kawasan *isolated*, khususnya Isolated Tiga Nusa dengan melihat kondisi saat ini, diasumsikan pertumbuhan energi meningkat 10% sampai

dengan 15% per tahun. Proyeksi kebutuhan tenaga listrik dapat dilihat pada **Tabel 3.4** dibawah ini:

**Tabel 3.4** Proyeksi Kebutuhan Tenaga Listrik

Tahun	Beban Puncak (MW)	Pertumbuhan Beban (%)	Load Factor
2018	7.05	13.76	58.73
2019	7.97	13.06	58.73
2020	8.97	12.48	58.73
2021	10.04	11.98	58.73
2022	11.21	11.56	58.73
2023	12.46	11.19	58.73
2024	13.8	10.9	58.73
2025	15.3	10.59	58.73
2026	16.9	10.34	58.73
2027	18.6	10.12	58.73

### 3.4 Historis Gangguan pada PLTD Tri Nusa

Pada data **Tabel 3.5** berikut ini merupakan data historis gangguan pada setiap unit pembangkit yang terdiri dari 7 unit didapatkan dari PT. PLN (Persero) Distribusi Nusa Penida. Dari durasi dan daya kehilangan dibawah ini dapat diakumulasikan sebagai bahan simulasi yang akan menentukan FOR (*Forced Outage Rate*) pada setiap unit sehingga dapat menghasilkan indeks keandalan berupa LOLP.

**Tabel 3.5** Data Historis Gangguan PLTD

UNIT	MULAI	AKHIR	DURASI (JAM)	LOSS OP PROD (KWH)	KETERANGAN
MDU 1	25/11/2018 13.45	25/11/2018 13.47	0,03	42	Alarm Gen Under Frekuensi
MDU 1	26/11/2018 07.39	26/11/2018 07.41	0,03	42	Alarm Gen Under Frekuensi
MDU 1	13/12/2018 19.15	13/12/2018 19.28	0,22	308	Alarm Gen Under Frekuensi
MDU 1	16/12/2018 18.43	16/12/2018 19.01	0,3	420	Alarm Gen Under Frekuensi



**Tabel 3.5** Data Historis Gangguan PLTD (lanjutan)

UNIT	MULAI	AKHIR	DURASI (JAM)	LOSS OP PROD (KWH)	KETERANGAN
MDU 1	18/12/2018 14.40	18/12/2018 15.14	0,57	798	Alarm Gen Under Frekuensi
MDU 1	21/12/2018 08.02	21/12/2018 08.22	0,33	462	Alarm Gen Under Frekuensi
MDU 2	18/11/2018 01.00	18/11/2018 01.34	0,57	798	Alarm Gen Under Frekuensi
MDU 2	25/11/2018 07.55	25/11/2018 09.11	1,27	1778	Alarm Gen Under Frekuensi
MDU 2	25/11/2018 13.45	25/11/2018 14.14	0,48	672	Alarm Gen Under Frekuensi
MDU 2	26/11/2018 07.39	26/11/2018 08.06	0,45	630	Alarm Gen Under Frekuensi
MDU 2	13/12/2018 19.15	13/12/2018 19.34	0,32	448	Alarm Gen Under Frekuensi
MDU 2	16/12/2018 18.43	16/12/2018 19.03	0,33	462	Alarm Gen Under Frekuensi
MDU 2	18/12/2018 14.40	18/12/2018 15.10	0,5	700	Alarm Gen Under Frekuensi
MDU 2	21/12/2018 08.02	21/12/2018 10.27	2,42	3388	Alarm Gen Under Frekuensi
MDU 3	25/11/2018 07.55	25/11/2018 08.51	0,93	1302	HTCW Outlet Temp High Alarm
MDU 3	13/12/2018 19.15	13/12/2018 19.34	0,32	448	Alarm Gen Under Frekuensi
MDU 3	16/12/2018 18.43	16/12/2018 19.05	0,37	518	Alarm Gen Under Frekuensi
MDU 3	18/12/2018 14.40	18/12/2018 15.07	0,45	630	Alarm Gen Under Frekuensi
MDU 3	21/12/2018 08.02	21/12/2018 08.41	0,65	910	Alarm Gen Under Frekuensi
MDU 4	25/11/2018 07.55	25/11/2018 08.05	0,17	238	Alarm Gen Under Frekuensi
MDU 4	26/11/2018 07.39	26/11/2018 08.24	0,75	1050	Alarm Gen Under Frekuensi
MDU 4	13/12/2018 19.15	13/12/2018 19.39	0,4	560	Alarm Gen Under Frekuensi
MDU 4	16/12/2018 18.43	16/12/2018 20.22	1,65	2310	Alarm Gen Under Frekuensi
MDU 4	18/12/2018 14.40	18/12/2018 15.13	0,55	770	Alarm Gen Under Frekuensi

**Tabel 3.5** Data Historis Gangguan PLTD (lanjutan)

UNIT	MULAI	AKHIR	DURASI (JAM)	LOSS OP PROD (KWH)	KETERANGAN
MDU 4	21/12/2018 08.02	21/12/2018 08.30	0,47	658	Alarm Gen Under Frekuensi
MDU 5	18/11/2018 01.00	18/11/2018 01.18	0,3	420	Alarm Gen Under Frekuensi
MDU 5	25/11/2018 07.55	25/11/2018 08.52	0,95	1330	Alarm Gen Under Frekuensi
MDU 5	13/12/2018 19.15	13/12/2018 19.44	0,48	672	Alarm Gen Under Frekuensi
MDU 5	16/12/2018 18.43	16/12/2018 19.01	0,3	420	Alarm Gen Under Frekuensi
MDU 5	18/12/2018 14.40	18/12/2018 15.10	0,5	700	Alarm Gen Under Frekuensi
MDU 5	21/12/2018 08.02	21/12/2018 08.22	0,33	462	Alarm Gen Under Frekuensi
MDU 6	18/11/2018 01.00	18/11/2018 01.29	0,48	672	Alarm Gen Under Frekuensi
MDU 6	25/11/2018 13.45	25/11/2018 14.10	0,42	588	Alarm Gen Under Frekuensi
MDU 6	26/11/2018 07.39	26/11/2018 08.03	0,4	560	Alarm Gen Under Frekuensi
MDU 6	13/12/2018 19.15	13/12/2018 19.49	0,57	798	Alarm Gen Under Frekuensi
MDU 6	16/12/2018 18.43	16/12/2018 18.59	0,27	378	Alarm Gen Under Frekuensi
MDU 6	18/12/2018 14.40	18/12/2018 14.58	0,3	420	Alarm Gen Under Frekuensi
MDU 6	21/12/2018 08.02	21/12/2018 08.23	0,35	490	Alarm Gen Under Frekuensi
MDU 7	18/11/2018 01.00	18/11/2018 01.56	0,93	1302	Alarm Gen Under Frekuensi
MDU 7	25/11/2018 07.55	25/11/2018 08.35	0,67	938	Alarm Gen Under Frekuensi
MDU 7	25/11/2018 13.45	25/11/2018 14.03	0,3	420	Alarm Gen Under Frekuensi
MDU 7	26/11/2018 07.39	26/11/2018 08.00	0,35	490	Alarm Gen Under Frekuensi
MDU 7	13/12/2018 19.15	13/12/2018 19.39	0,4	560	Alarm Gen Under Frekuensi
MDU 7	16/12/2018 18.43	16/12/2018 18.49	0,1	140	Alarm Gen Under Frekuensi

**Tabel 3.5** Data Historis Gangguan PLTD (lanjutan)

UNIT	MULAI	AKHIR	DURASI (JAM)	LOSS OP PROD (KWH)	KETERANGAN
MDU 7	18/12/2018 14.40	18/12/2018 14.49	0,15	210	Alarm Gen Under Frekuensi
MDU 7	21/12/2018 08.02	21/12/2018 08.15	0,22	308	Alarm Gen Under Frekuensi

### 3.5 Asumsi Harga Perencanaan Pembangkit

Berikut data yang diberikan di PT. PLN (Persero) Distribusi Nusa Penida dengan asumsi *photovoltaic* dan baterai yang telah diberikan untuk menginput pada data program WASP IV. Sehingga hasil tersebut dapat dianalisa dan dievaluasi.

Berdasarkan **Tabel 3.6**, dijelaskan bahwa asumsi PLTD yang telah terhitung dalam historis selama mensuplai energy listrik, dengan harga sewa PLTD di Nusa Penida sebesar Rp 414/kWh yang didapatkan dari data PLN.

Berdasarkan pada **Tabel 3.7**, data PSH *Horizontal* dan PSH *Modules Nett* didapatkan dari asumsi energi matahari rata-rata yang disimulasikan dalam rentang waktu satu tahun menggunakan *software meteonorm* dengan memberikan titik lokasi yang akan direncanakan untuk pembangunan. Selain itu diberikan asumsi *performance ratio*, efisiensi, daya tahan inverter, *lifetime degradation* dan PPA *duration* sesuai dengan karakteristik panel yang telah dipilih. Untuk pembiayaan USD/Watt, lahan, suku bunga serta inflasi dipilih pengembangan *renewable energy* secara umum.

Berdasarkan **Tabel 3.8**, dijelaskan bahwa asumsi baterai yang diberikan sesuai dengan karakteristik nameplate yang telah dipilih. Diasumsikan durasi ketahanan baterai selama 25 tahun. *Battery Depth of Discharge (DOD)* sebesar 80% dari kapasitasnya, inflasi sebesar 2,5% per tahun dari rata-rata kenaikan suku bunga Bank Indonesia (BI), pemeliharaan 2% per tahun, serta efisiensi dari baterai diasumsikan sebesar 95%.

**Tabel 3.6** Asumsi Harga PLTD

<b>Uraian</b>	<b>Nilai</b>	<b>Satuan</b>
<i>Total Daily Energy Generated</i>	Rp 132.667	kWh/hari
<i>Total Energy Delivered</i>	Rp 132.667	kWh/hari
<i>Storage Losses</i>	Rp 0	kWh/hari
<i>Total Nameplate Capacity</i>	10.000	kW (include storage)
<i>Peak Load System</i>	7.830	kW
<i>Total Capital Cost</i>	-	Rp
<i>Yearly Full Cost</i>	Rp 107.229.326.408	Rp/Tahun
<i>Total Energy Delivered</i>	48.423.429	kWh

**Tabel 3.7** Asumsi Modul PV

<b>Uraian</b>	<b>Nilai</b>	<b>Satuan</b>
<i>PSH Horizontal</i>	5,54	Hour/day
<i>PSH Modules Nett</i>	5,27	Hour/day
<i>Performance Ratio</i>	85%	%
<i>PV Area Efficiency</i>	16,00%	%
<i>SP Capital Cost PV</i>	0,329	USD/Watt
<i>SP Capital Cost Inverter</i>	0,056	USD/Watt
<i>SP Capital Cost Racking</i>	0,042	USD/Watt
<i>SP Capital Cost Bost</i>	0,273	USD/Watt
<i>Equity Ratio</i>	100%	% from total capital
<i>Loan Tenor</i>	10	Years
<i>Interest Rate</i>	5 – 6%	% / Year
<i>Inflation</i>	2,5%	% / Year
<i>PV Plant Maint Cost</i>	1,0%	% Capital Cost / Year
<i>Inverter Lifetime</i>	15	Years
<i>Lifetime Degradation</i>	90%	%
<i>PPA Duration</i>	25	Years
<i>Tracking</i>	FIX	Fix, Single Double
<i>PV LCOE</i>	825	Rp/kWh

**Tabel 3.8** Asumsi Baterai

<b>Uraian</b>	<b>Nilai</b>	<b>Satuan</b>
<i>Storage Used</i>	Battery	Battery, Pumped
<i>PPA Duration</i>	25	Years
<i>Equity Ratio</i>	100%	% from total capital
<i>Loan Tenor</i>	10	Years
<i>Discount Rate</i>	4%	% / Year
<i>Inflation</i>	2,5%	% / Year
<i>SP Capital Cost Battery</i>	0,20	USD/WH
<i>SP Capital Cost Inverter</i>	0,40	USD/Watt
<i>Inverter Lifetime</i>	10	Tahun
<i>Battery Cycle 80% DOD</i>	1500	Cycle
<i>Battery DOD</i>	80%	%
<i>Maint Cost</i>	2%	% Inv. Cost / Year
<i>Charge Efficiency</i>	95%	%
<i>Discharge Efficiency</i>	95%	%

**Tabel 3.9** Rencana Anggaran Biaya PLTS dan Baterai**xRp 1.000**

<b>No</b>	<b>Kegiatan</b>	<b>Volume</b>	<b>Harga Satuan (Rp)</b>	<b>Nilai Anggaran (Rp)</b>	<b>Nilai per Komponen (Rp)</b>
1	<b>Komponen A</b>				<b>126.763.335</b>
	PV Modul	10.000 kWp	4771	26.460.000	
	Inverter	10.000 kWp	812	3.780.000	
	Racking	10.000 kWp	609	6.090.000	
	Booster	10.000 kWp	3.958,5	39.585.000	
	Baterai	10.000 kWp	2.526,33	25.263.335	
	Rectifier	-	5.800	-	
2	<b>Komponen B</b>				<b>16.500.000</b>

**Tabel 3.9** Rencana Anggaran Biaya PLTS dan Baterai (lanjutan)

No	Kegiatan	Volume	Harga Satuan (Rp)	Nilai Anggaran (Rp)	Nilai per Komponen (Rp)
	Harga Tanah	110.000 <i>m</i> <sup>2</sup>	150	16.500.000	
3	<b>Komponen C</b>				
	BBM	-	-	-	-
	<b>Total Nilai Anggaran</b>				<b>143.263.335</b>
	<b>Total Nilai Anggaran + PPN 10%</b>				<b>157.589.669</b>

Berdasarkan **Tabel 3.9**, dijelaskan bahwa merencanakan anggaran biaya PLT *Hybrid* berupa komponen A, yang terdiri dari PV Modul, inverter, *racking*, *booster*, *baterai rectifier*. Lalu komponen B terdiri dari harga tanah yang akan dikembangkan PLT *Hybrid* nantinya. Sedangkan komponen C yang berupa bahan bakar tidak input karena PLTS menggunakan sinar matahari.

### 3.6 Metodologi WASP-IV

WASP IV merupakan sebuah program yang digunakan untuk memberikan simulasi sebagai rencana pengembangan sistem pembangkit yang optimum dengan memberikan indeks keandalan yang berdasarkan kemungkinan yang ada. Dalam program ini memiliki input data untuk memodelkan perencanaan pembangkit.

Adapun beberapa indikator yang diinput dalam parameter keandalan suatu sistem pembangkit tenaga listrik pada WASP IV, yaitu:

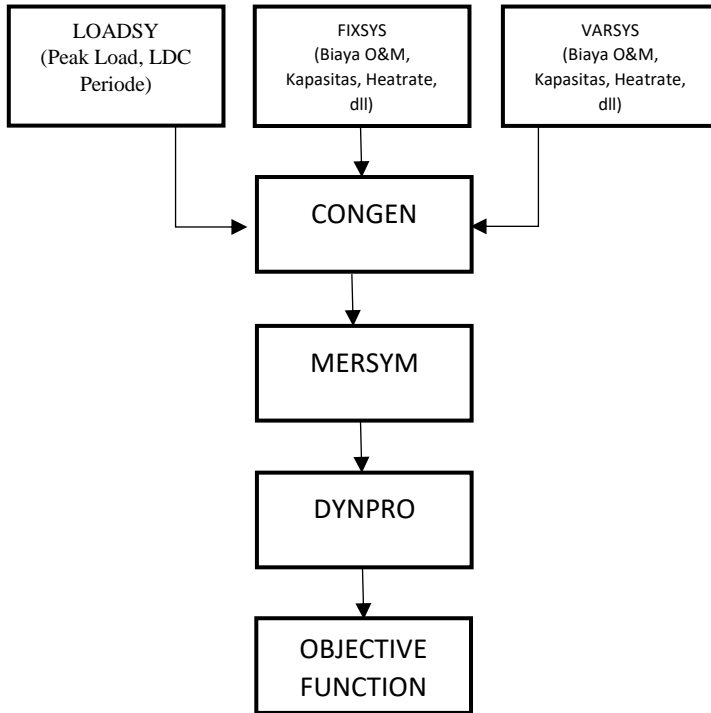
- a. LOADSY yaitu memberikan proses informasi dengan mendeskripsikan periode beban puncak dan menginput *Load Duration Curve* (LDC) pada periode tertentu seperti yang telah dijelaskan pada Bab 2.
- b. FIXSYS (*Fixed System Description*) yaitu menginput karakteristik semua kandidat pembangkit yang akan dioperasikan nantinya, seperti: tipe bahan bakar, jumlah

unit, operasi minimum dan maksimum dalam setahun (MW), tingkat panas pada level operasi minimum (kcal/kWh), tingkat panas kenaikan rata-rata (kcal/kWh), FOR (*Forced Outage Rate*) dalam persen, dllnya. Sehingga dapat menganalisa perhitungan keandalan sistem seperti LOLP dan ENS.

- c. VARSYS (*Variable System Description*) yaitu mendeskripsikan bermacam-macam pembangkit listrik yang dianggap sebagai kandidat untuk dikembangkan.
- d. CONGEN (*Configuration Generator*), yaitu menghitung semua kombinasi *year-to-year* yang mungkin terjadi sebagai tambahan kandidat yang memenuhi batasan input tertentu, dengan dikombinasikan pada sistem yang ada.
- e. MERSYM (*Merge and Simulate*), yaitu dengan mempertimbangkan semua konfigurasi yang diajukan CONGEN.
- f. DYNPRO (*Dynamic Programming Optimazation*), yaitu modul yang digunakan untuk menentukan pengembangan perencanaan paling optimum yang telah diperhitungkan sebelumnya khususnya kriteria keandalan sistem

Seluruh parameter modul tersebut akan ditentukan perencanaan keandalan sistem yang paling optimum sehingga dapat dilihat pada modul REPROBAT (REPORT (*Report Writer of WASP in Batched Environment*))

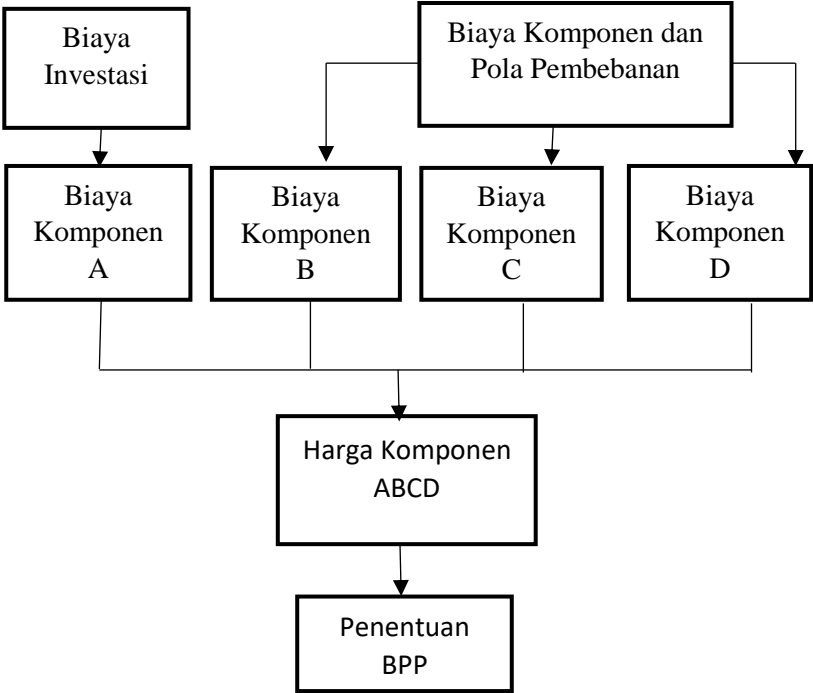
### 3.6.1 Blok Diagram Metodologi WASP-IV



**Gambar 3.6** Flow chart metodologi penentuan keandalan



**3.7 Blok Diagram Penentuan Biaya Pokok Produksi (BPP)**



**Gambar 3.7** Flow chart metodologi penentuan BPP

*(Halaman ini sengaja dikosongkan)*

## BAB 4

# SIMULASI DAN ANALISA PERENCANAAN PEMBANGKIT

Pada umumnya, sistem keandalan dilaksanakan untuk melihat performa suatu sistem (*system performance*) dan memberikan prediksi pada sistem tersebut pada waktu yang akan datang (*system prediction*). Pada bab ini diharapkan dapat menganalisa dan mengevaluasi keandalan sistem pembangkit yang berada di Tri Nusa – Bali dengan menggunakan *software* WASP IV (*Wien Automatic System Planning Package*) dengan data-data dan parameter yang telah didapatkan dari PLN. Sehingga, dapat ditinjau melalui membandingkan indeks keandalan sebelum dikembangkan PLT *Hybrid* maupun setelah adanya PLT *Hybrid*. Selain itu, melalui proses simulasi tersebut dapat mengetahui BPP (Biaya Pokok Produksi) dan seberapa lama modal yang diinvestasikan dalam mengembangkan PLT *Hybrid* dapat kembali.

### 4.1 Data dan Parameter Perencanaan Pembangkit

Data dan parameter studi perencanaan pembangkit PLT *Hybrid* adalah:

- |    |                               |                           |
|----|-------------------------------|---------------------------|
| a. | Periode studi                 | : 2018 sampai dengan 2027 |
| b. | Lama studi                    | : 10 tahun                |
| c. | Jumlah periode                | : 1                       |
| d. | <i>Minimum Reverse Margin</i> | : 30 %                    |
| e. | <i>Maximum Reverse Margin</i> | : 70%-80%                 |
| f. | Harga Sewa PLTD               | : Rp 414 / kWh            |
| g. | Harga BBM PLTD                | : Rp 7.744 / Liter        |
| h. | SFC                           | : 0,25 Liter / kWh        |
| i. | CF                            | : 0,65                    |
| j. | FOR PLTS                      | : 0,04                    |

Dengan data historis gangguan PLTD pada Bab 3 yang diperoleh dari setiap unit pembangkit, dapat memberikan nilai FOR (*Forced Outage Rate*) atau *unavaibility*. Sehingga dari hasil 1-FOR nantinya dapat memperoleh hasil *avaibility*. Berikut hasil *unavaibility dan avaibility* yang diperoleh pada **Tabel 4.1** dibawah ini.

**Tabel 4.1** Nilai FOR dan 1-FOR

<b>Unit Generator</b>	<b>Unavailability</b>	<b>Avaibility</b>
1	0,000169	0,999831
2	0,000723	0,999277
3	0,00031	0,99969
4	0,000402	0,999598
5	0,000326	0,999674
6	0,000318	0,999682
7	0,000356	0,999644

Pada **Tabel 4.1** terlihat bahwa nilai FOR tertinggi adalah 0,000723 karena waktu yang pemadaman atau *outage* pembangkit selama 6,34 jam.

Selain itu heat rate PLTD yang diperoleh dari data karakteristik *manual book* sesuai dengan referensi [13]. Untuk data PLTS dan baterai diasumsikan FOR = 0,04 sesuai dengan referensi [10], sedangkan heat value diinput 0 karena tidak adanya pembakaran yang dihasilkan.

#### **4.2 Proses Simulasi WASP IV**

Sesuai dengan diagram metodologi pada Bab 3, perhitungan indeks kendalan PLT *Hybrid* Tri Nusa dapat dijelaskan sebagai berikut:

- a. Data beban dan pembangkit variabel sesuai dengan karakteristik yang didapatkan dari data PLN, *manual book*, dan RUPTL 2018-2027 diinput pada modul LOADSY, FISXSYS, dan VARSYS.
- b. Menginput nilai minimum dan maksimum *reverse margin* pada modul CONGEN, dengan aturan *minimum reverse margin* < daya mampu < *maximum reverse margin*.
- c. Mengeksekusi modul CONGEN dan MERSYM untuk melihat hasil indeks keandalan LOLP setiap konfigurasi pembangkit PLTS yang teroptimasi per tahun.
- d. Mengeksekusi modul DYNPRO bertujuan mencari fungsi objektif pada akhir tahun studi dengan kriteria perencanaan dalam penambahan pembangkit dan perhitungan keandalan sistem nantinya.

### 4.3 Hasil dan Analisa Keandalan dan Perhitungan BPP Pembangkit

Setelah mendapatkan hasil simulasi pada program WASP IV dari kedua kondisi, maka dilakukan perbandingan LOLP (*Loss of Load Probability*) antara sistem pembangkit sebelum dikembangkan PLT *Hybrid* maupun sesudah terhubung PLT *Hybrid*. Adapun perhitungan analisa yang diberikan selama tahun 2018 sampai dengan 2027.

Berikut ini hasil simulasi LOLP dari PLTD yang ditunjukkan pada **Gambar 4.1**. Sedangkan **Gambar 4.2** merupakan hasil LOLP dari PLT Hybrid, dimana hasil perbandingan LOLP tersebut dapat dinyatakan pada **Gambar 4.3**.

YEAR-----	PRESENT WORTH COST OF THE YEAR ( K\$ )-----	OBJ.FUN.	LOLP	PLTD				
CONCST	SALVAL	OPCOST	ENSCST	TOTAL	(CUMM.)	%		
2027	0	0	1074	0	1074	8693	0.472	10+
2026	0	0	1052	0	1052	7618	0.472	9+
2025	0	0	957	0	957	6567	0.472	7+
2024	0	0	924	0	924	5610	0.472	6+
2023	0	0	887	0	887	4686	0.472	5+
2022	0	0	846	0	846	3798	0.472	4+
2021	0	0	800	0	800	2953	0.472	3-
2020	0	0	832	0	832	2153	0.472	3-
2019	0	0	692	0	692	1322	0.472	1-
2018	0	0	630	0	630	630	0.472	0

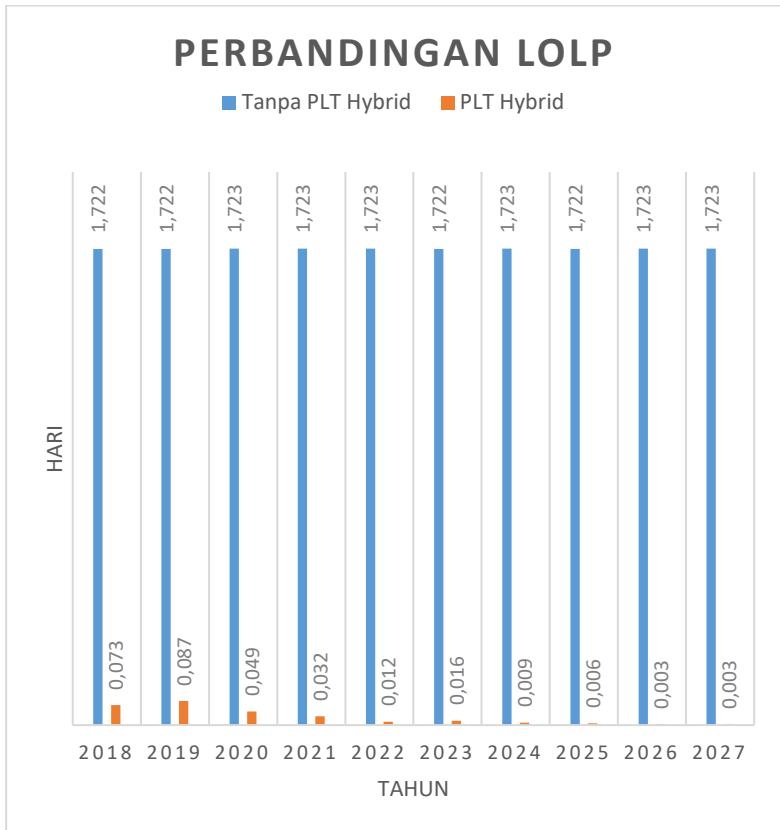
\*\*\*\*\* ALL POSSIBLE PATHS TRACED \*\*\*\*\*

**Gambar 4.1** LOLP PLTD

STATE	COST K\$	LOLP %	DAYS/YEAR	2018	CONFIGURATIONS
1	642.	0.0201	0.073 <- WITH MAINT	0	*****
				-1	
STATE	COST K\$	LOLP %	DAYS/YEAR	2019	CONFIGURATIONS
2	667.	0.0239	0.087 <- WITH MAINT	1	*****
3	692.	0.0029	0.011 <- WITH MAINT	2	*****
				-1	
STATE	COST K\$	LOLP %	DAYS/YEAR	2020	CONFIGURATIONS
4	717.	0.0134	0.049 <- WITH MAINT	3	*****
5	742.	0.0035	0.013 <- WITH MAINT	4	*****
6	766.	0.0016	0.006 <- WITH MAINT	5	*****
				-1	
STATE	COST K\$	LOLP %	DAYS/YEAR	2021	CONFIGURATIONS
7	767.	0.0089	0.032 <- WITH MAINT	5	*****
				-1	
STATE	COST K\$	LOLP %	DAYS/YEAR	2022	CONFIGURATIONS
8	842.	0.0032	0.012 <- WITH MAINT	8	*****
				-1	
STATE	COST K\$	LOLP %	DAYS/YEAR	2023	CONFIGURATIONS
9	894.	0.0044	0.016 <- WITH MAINT	10	*****
				-1	
STATE	COST K\$	LOLP %	DAYS/YEAR	2024	CONFIGURATIONS
10	970.	0.0025	0.009 <- WITH MAINT	13	*****
				-1	
STATE	COST K\$	LOLP %	DAYS/YEAR	2025	CONFIGURATIONS
11	1059.	0.0018	0.006 <- WITH MAINT	16	*****

12	1215.	0.0009	0.003 <-	WITH MAINT	20
STATE	COST K\$	LOLP %	-	DAYS/YEAR	2027
13	1303.	0.0009	0.003 <-	WITH MAINT	23
				CONFIGURATIONS	-1
					-1

**Gambar 4.2** LOLP PLT *Hybrid*



**Gambar 4.3** Grafik Perbandingan LOLP

Berdasarkan **Gambar 4.1**, dapat diketahui hasil rekomendasi dari modul DYNPRO untuk penambahan PLTD untuk memenuhi kebutuhan beban puncak yang telah ditetapkan RUPTL 2018-2027, sehingga dapat diketahui dari indeks keandalan LOLP dari setiap

penambahan PLTD. Berdasarkan **Gambar 4.2**, dapat diketahui hasil rekomendasi dari modul MERSYM untuk mengetahui hasil LOLP dari setiap tahun dengan memperhatikan perawatan dari pembangkit tersebut agar keandalan sistem dapat terjaga dengan baik.

Berdasarkan grafik pada **Gambar 4.3**, dapat diketahui bahwa nilai LOLP pada sistem PLT *Hybrid* yang data yang telah didapatkan dari PLN menunjukkan lebih rendah dibandingkan tanpa PLT *Hybrid*. Hal ini menandakan bahwa dengan adanya PLT *Hybrid* yang terdiri dari PLTD, PLTS dan baterai dapat menghasilkan daya yang lebih banyak untuk memenuhi kebutuhan beban yang terus meningkat pada beberapa tahun kedepan. Berbeda dengan tanpa PLT *Hybrid* yang jumlah pembangkit yang relatif sedikit sehingga tidak dapat memenuhi beban yang akan terus meningkat. Sehingga dapat disimpulkan dengan dikembangkan PLT *Hybrid* dapat memberikan hasil keandalan yang lebih baik dibandingkan tanpa PLT *Hybrid*.

Selain itu menghitung perhitungan dari BPP PLTD, PLTS dan Baterai. Sehingga dapat menghitung dari penggabungan keseluruhan BPP PLT *Hybrid* dengan parameter dan asumsi yang telah dijelaskan sebelumnya.

**Tabel 4.2** Perhitungan BPP PLTD

Item	Satuan	PLTD MFO
Harga Komponen ABD	Rp/kWh	414
CF Kontrak	Persen	1
CF Realisasi	Persen	1
SFC	ltr/kWh	0,250
Harga BBM Estimasi	Rp/ltr	7.744
Estimasi Komponen C	Rp/kWh	1.936

**Tabel 4.2** Perhitungan BPP PLTD (lanjutan)

Item	Satuan	PLTD MFO
Produksi kWh 1 HARI	kWh	125.684
Produksi kWh 1 th	kWh	45.874.828
BBM 1 Th	ltr/kWh	11.468.707
Biaya Komp ABD 1 tahun	Rp	18.992.178.751
Biaya Komp C 1 tahun	Rp	88.813.666.814
Total ABCD	Rp	107.805.845.565
Kurs	Rp/USD	14.500
BPP IDR	Rp/kWh	2.350
PPN 10 %	Rp	235
BPP + PPN	Rp	2.585
BPP USD	US cen/kWh	17,83

Pada **Tabel 4.2** dijelaskan bahwa dengan pola pembebanan yang telah diproyeksikan PT. PLN (Persero) Distribusi Nusa Penida, produksi kWh 1 hari sebesar 125.684. Sehingga jika dihitung selama satu tahun dengan dikali 365 hari maka didapatkan Rp 45.874.828, dengan konsumsi liter selama satu tahun sebesar Rp 11.468.707. Maka biaya komponen ABD selama 1 tahun sebesar Rp 18.992.178.751 dan komponen C sebesar Rp 88.813.666.814. Diperoleh total ABCD sebesar Rp 107.805.845.565. Dengan hasil tersebut dibagi dengan perolehan 1 tahun dihasilkan BPP ditambah PPN sebesar 2.585 Rp/kWh atau 17,83 US cen/kWh.



**Tabel 4.3** Perhitungan BPP Porsi PLT *Hybrid*

<b>Item</b>	<b>PLTS Produksi (Rp)</b>	<b>Baterai Simpan (Rp)</b>	<b>PLTS + BATERAI (Rp)</b>	<b>PLTD (Rp)</b>
Harga Kompon en ABD	825	1.754		414
CF Kontrak				1
CF Realisasi				1
Baterai	-	10,00	10,00	
SFC (Liter / kWh)				0,250
Harga BBM Estimasi				7.744
Estimasi Komp. C				1.936
Produksi kWh 1 hari	40.654	10.000	38.654	87.030
Produksi kWh 1 tahun	14.838.710	3.650.000	14.108.710	31.766.118
BBM 1 tahun	-		-	7.941.529
Biaya Komp ABD 1 tahun	12.241.935. 750	6.403.553. 663	18.645.489. 413	13.151.172. 811
Biaya Komp C 1 tahun	-	-	-	61.499.204. 254

**Tabel 4.3** Perhitungan BPP Porsi PLT *Hybrid* (lanjutan)

Item	PLTS Produksi (Rp)	Baterai Simpan (Rp)	PLTS + BATERAI (Rp)	PLTD (Rp)
Total ABCD	12.241.935.7 50	6.403.553.6 63	18.645.489.4 13	74.650.377.0 65
Kurs	14.500	14.500	14.500	14.500
BPP IDR	825	1.754	1.322	2.350
PPN 10%	83	175	132	235
BPP + PPN	908	1.930	1.454	2.585
BPP USD Cen	6,26	13,31	10,03	17,83

Pada **Tabel 4.3** dijelaskan bahwa perhitungan dari masing-masing porsi PLT *Hybrid* sesuai pola pembebanan yang diperoleh. Dengan menggunakan PLTS + Baterai dapat menghemat biaya komponen C yaitu pemakaian BBM. Akan tetapi membutuhkan komponen ABD berupa investasi modal, komponen tetap berupa (O&M) dan biaya variabel operasi dan pemeliharaan yang cukup banyak dibandingkan hanya menggunakan PLTD.

**Tabel 4.4** Perhitungan BPP PLT Hybrid

Item	PLT Hybrid ( PLTD + PLTS + Batery
SFC	0,250 Liter / kWh
Harga BBM Estimasi	Rp 7.744
Estimasi Komponen C	Rp 1.936
Produksi kWh 1 HARI	Rp 125.684

**Tabel 4.4** Perhitungan BPP PLT Hybrid (lanjutan)

Item	PLT Hybrid ( PLTD + PLTS + Batery
Produksi kWh 1 th	Rp 45.874.828
BBM 1 Th	Rp 7.941.529
Biaya Komp ABD 1 tahun	Rp 25.393.108.561
Biaya Komp C 1 tahun	Rp 61.499.204.254
Total ABCD	Rp 86.892.312.815
Kurs	Rp 14.500
BPP IDR	Rp 1.894
PPN 10 %	Rp 189
BPP + PPN	Rp 2.084
BPP USD Cen	USD 14,37

Pada **Tabel 4.4** diperoleh hasil BPP sebesar 2.084 Rp/kWh atau bila dikonversikan pada biaya USD Cen sebesar 14,37 per kWh. Apabila dibandingkan dengan penggunaan PLTD, jika menggunakan PLT *Hybrid* dapat menghemat sebesar Rp 501/kWh. Dengan penghematan pertahun sebesar Rp 20.913.532.750 sesuai yang ditunjukkan pada **Tabel 4.5** dibawah ini.

**Tabel 4.5** Perhitungan penghematan PLT Hybrid

Item	Satuan	Nominal
Saving BPP (PLTD - PLTS – <i>Battery Storage</i> )	Rp/kWh	501
Saving / th	Rp	20.913.532.750

*(Halaman ini sengaja dikosongkan)*

## **BAB 5**

### **PENUTUP**

#### **5.1 Kesimpulan**

Dari hasil simulasi WASP IV dan perhitungan BPP PLT *Hybrid* didapatkan beberapa kesimpulan yaitu :

1. Sistem pembangkit PLT *Hybrid* (PLTD – PLTS – *Battery Storage*) memiliki indeks keandalan yang lebih baik dibandingkan hanya pembangkit PLTD, karena semakin rendah nilai LOLP sistem maka semakin tinggi tingkat keandalannya. Dinyatakan dengan nilai LOLP pembangkit sebanyak 0,0009% atau 0,0003 hari/tahun sedangkan pembangkit PLTD sebanyak 0,4721% atau 1,723 hari/tahun. Hal ini belum memenuhi standart Internasional sebesar 0,25 hari/tahun dan standart PLN menurut RUPTL 2018-2027 sebanyak 1 hari/tahun.
2. Dari hasil perhitungan FOR dari setiap gangguan unit PLTD, didapatkan unit 2 dan 4 memiliki nilai FOR yang tinggi sehingga mempengaruhi indeks keandalan LOLP yang tidak memenuhi standart Internasional maupun PLN. Sehingga dengan adanya PLT *Hybrid* diharapkan dapat meminimalisasi nilai FOR dari pembangkit PLTD.
3. Dari hasil perhitungan BPP walaupun nilai investasi PLTS dan *Battery Storage* cukup tinggi, namun diperoleh dengan adanya PLT *Hybrid* (PLTD – PLTS – *Battery Storage*) dapat meminimalisasi BPP Rp 2.084 per kWh. Dengan perbandingan antara PLTD dan PLT *Hybrid* sebesar Rp 501 per kWh yang dapat menghemat sebesar Rp 20.913.532.750 per tahun.

#### **5.2 Saran**

Saran yang dapat diberikan untuk perbaikan tugas akhir ini adalah:

1. Dalam menentukan indeks keandalan pembangkit dapat digunakan sebagai pertimbangan untuk prediksi di masa depan untuk pembangunan pembangkit *renewable energy* khususnya pulau yang bersifat *isolated*.

2. Dapat dikembangkan untuk memperoleh BPP dalam beberapa tahun kedepan khususnya pembangkit *renewable energy* dengan menggunakan metode yang ada.

## DAFTAR PUSTAKA

- [1] C. Nayar, M. Tang, and W. Suponthana, "Wind/PV/diesel micro grid system implemented in remote islands in the republic of maldives," *2008 IEEE Int. Conf. Sustain. Energy Technol. ICSET 2008*, pp. 1076–1080, 2008.
- [2] R. Billiton, *Reliability Evaluation of Power Systems*, vol. 30, no. 6. 2010.
- [3] P. Nag, *Power Plant Engineering*, 3rd Editio. New Delhi: Tata McGraw Hill, 2008.
- [4] M. D. Raja, A.K., Amith Prakash Srivastava, *Power Plant Engineering*. New Delhi: New Age International, 2006.
- [5] H. Poeswanto and A. Yani, "PERENCANAAN PEMANFAATAN MARINE FUEL OIL (MFO) SEBAGAI BAHAN BAKAR ENGINE DIESEL MaK," *Turbo J. Progr. Stud. Tek. Mesin*, vol. 4, no. 1, 2017.
- [6] Soedibyo, *Pembangkitan Tenaga Listrik*. Surabaya: itspress, 2015.
- [7] A. Goetzberger and V. U. Hoffmann, *Photovoltaic Solar Energy Generation. Series: Springer Series in Optical Sciences.*, 2005.
- [8] R. Schoenmaker, "Developing a Smart Grid Simulation model from an end-users perspective," 2014.
- [9] S. F. Hutapea and A. Purwadi, "Design of hybrid PV-generator-battery system for two kind of loads at Aha Village, Morotai Island, North Maluku," *ICCREC 2017 - 2017 Int. Conf. Control. Electron. Renew. Energy, Commun. Proc.*, vol. 2017-Janua, pp. 127–131, 2017.
- [10] A. K. Nayak, K. B. Mohanty, K. Thakre, V. S. Kommukuri, and R. N. Mishra, "Probabilistic estimation of capacity value of photovoltaic system," *2017 6th Int. Conf. Comput. Appl. Electr. Eng. - Recent Adv. CERA 2017*, vol. 2018-Janua, pp. 123–127, 2018.
- [11] R. Apriani and R. Thayib, "Perhitungan Loss of Load Probability Tenaga Listrik Di Pt . Pupuk Sriwidjaja," vol. 2, no. 1, pp. 22–27, 2015.
- [12] R. F. Setya Budi, M. D. Birmano, and I. B. -, "Pemodelan Perhitungan Indeks Lost of Load Probability untuk N Unit Pembangkit pada Sistem Kelistrikan Opsi Nuklir," *J. Pengemb. Energi Nukl.*, vol. 19, no. 2, p. 61, 2018.

[13] O. Gensets, “HiMSEN Engine,” pp. 1–16, 2012.



## BIODATA PENULIS



**Ida Bagus Yudistira Angradana Putra**, dilahirkan di Surabaya, 24 April 1996. Penulis memulai jenjang pendidikan di SD Hang Tuah 10 Juanda Sidoarjo, SMPN 1 Sidoarjo, dan SMAN 15 Surabaya. Pada tahun yang sama penulis melanjutkan pendidikan ke jenjang perguruan tinggi dan diterima di Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya di Departemen Teknik Elektro. Semasa kuliah, penulis aktif dalam kegiatan kepanitiaan dan organisasi, diantaranya adalah ELECTRA V, Petrolida, YES Summit dan anggota Divisi

Workshop ITS 2017 dan 2018. Selain itu, penulis juga pernah menjadi peserta dalam konferensi AYIMUN 2018 yang diwakilkan dari seluruh negara Asia di Bangkok. Penulis dapat dihubungi melalui email: [idabagus.yudistira@gmail.com](mailto:idabagus.yudistira@gmail.com)