

PERANCANGAN PHOTOVOLTAIC STAND ALONE SEBAGAI CATU DAYA PADA BASE TRANSCEIVER STATION TELEKOMUNIKASI DI PULAU NUSA PENIDA

IP. Eka Indrawan, Rukmi Sari Hartati, Linawati

Manajemen Energi Pascasarjana
Universitas Udayana Bali, Indonesia
gank_seven@yahoo.co.id

Abstract

One of the equipments in mobile communication network that is a BTS (Base Transceiver Station). BTS that have been existed in the Nusa Penida island is BTS Nusa Penida that have address in the Kutampi village with have wide of 500 m². Power system in BTS Nusa Penida were supplied by PLN and the generator, when occur of outage of power generally use generators as source of power. Usage of generators arise high cost in operational, For that will be need other source which more efficient. The level of insolation potency of sun rays at the Nusa Penida can be as an alternative power source that solar energy could be renewable as additional power supply in the BTS Nusa Penida finally it able to maintain stability of power supply to the BTS and public access to information through mobile become undisturbed. PV (Photovoltaic) is one of the renewable energy that can be used as additional power supply in the BTS. PV systems have been developed to supply the power to BTS planned equal to 25%. It is a hybrid PV systems with power supply of PLN. Level of PV generated to supply power in the BTS is 9 kWp, the result from PV panels there are 45 panels with capacity of PV panels is 200Wp and capacity of the battery that will be used 3800 Ah by total of battery are 16 pcs. The feasibility analysis of PV investment without batteries and PV with batteries conducted by using NPV, PI and DPP shows the result that PV investment is feasible to performed. For NPV and PI values have been obtained both investment result (> 0). As for the DPP have been obtained that both of investment result shows less than the period of life projects that have been determined, that is for 25 years.

Keywords: *BTS Nusa Penida, PV, Investment feasibility analysis of PV*

Abstrak

Salah satu perangkat dalam jaringan komunikasi seluler adalah BTS (*Base Transceiver Station*). BTS yang ada di pulau Nusa Penida adalah BTS Nusa Penida dengan alamat desa kutampi dengan luas 500 m². Sistem kelistrikan BTS Nusa Penida dipasok oleh PLN dan genset, dimana pada saat terjadi pemadaman energi listrik pada umumnya mempergunakan genset sebagai sumber energi listrik. Penggunaan genset mengakibatkan biaya operasional sangat tinggi, untuk itu diperlukan sumber lain yang lebih efisien. Besarnya potensi insolasi sinar harian matahari di Nusa penida, bisa sebagai alternatif lain untuk sumber energi listrik dimana energi matahari bisa sebagai energi terbarukan untuk catu daya tambahan di BTS Nusa Penida yang pada akhirnya dapat menjaga kestabilan suplai energi listrik ke BTS dan akses masyarakat terhadap informasi melalui seluler menjadi tidak terganggu. PV (*Photovoltaic*) merupakan salah satu energi terbarukan yang dapat digunakan sebagai energi terbarukan untuk catu daya tambahan di BTS. Sistem PV yang dikembangkan untuk mensuplai energi listrik di BTS direncanakan sebesar 25%, adalah sistem PV yang hybrid dengan suplai listrik PLN. Besar daya PV yang dibangkitkan untuk mensuplai energi listrik di BTS adalah 9 kWp, yang dihasilkan dari panel PV sebanyak 45 panel dengan kapasitas panel PV adalah 200Wp dan kapasitas baterai yang akan digunakan adalah 3.800 Ah dengan total baterai 16. Analisis kelayakan investasi PV tanpa baterai dan PV dengan baterai yang dilakukan dengan menggunakan NPV, PI dan DPP menunjukkan hasil bahwa investasi PV layak untuk dilaksanakan. Untuk nilai NPV dan PI didapatkan kedua hasil investasi (> 0). Sedangkan untuk DPP didapatkan kedua hasil investasi dihasilkan lebih kecil dari periode umur proyek yang sudah ditetapkan, yaitu selama 25 tahun.

Kata Kunci : *BTS Nusa Penida, PV, Analisis kelayakan investasi PV*

1. PENDAHULUAN

Sistem komunikasi modern seperti komunikasi seluler sangat berperan dalam kehidupan sekarang. Salah satu perangkat dalam jaringan komunikasi seluler adalah BTS (*Base Transceiver Station*). BTS merupakan tempat beradanya perangkat-perangkat yang berhubungan langsung dengan handphone pelanggan (*mobile station*) yang berfungsi sebagai

pengirim dan penerima sinyal. Penukliran energi listrik yang stabil sangat penting untuk BTS, terutama untuk BTS yang berada didaerah terpencil yang tidak terjangkau aliran listrik PLN ataupun daerah yang tingkat kebutuhan telekomunikasi yang sangat tinggi. Di pulau Nusa Penida terdapat salah satu BTS telekomunikasi yaitu BTS Nusa Penida dengan alamat desa Kutampi dengan luas 500 m². Pada saat ini sistem kelistrikan BTS Nusa Penida

dipasok oleh PLN dan Genset dengan daya 16.500 Watt. Pada BTS ini penggunaan energi listrik untuk penerangan umum, pengkondisi udara ruang shelter, lampu menara dan perangkat BTS. Pada saat terjadi pemadaman energi listrik dari PLN, BTS di Nusa Penida umumnya mempergunakan Pembangkit Listrik Tenaga Diesel (*genset*) sebagai sumber energi listrik. Mahalnya biaya operasional PLTD, disebabkan oleh tingginya biaya untuk bahan bakar mencapai 1,5 kali harga bahan bakar minyak pasaran di Bali. Apabila energi listrik ini dikaitkan dengan besarnya potensi insolasi sinar harian matahari maka potensi energi matahari sebagai energi terbarukan untuk kebutuhan suplai energi listrik di BTS Nusa Penida sangat cocok.

PV (*Photovoltaic*) merupakan salah satu energi terbarukan yang dapat digunakan sebagai sumber energi listrik di BTS yang berada pada daerah yang belum terdapat jaringan listrik PLN. Penelitian yang telah dilakukan oleh Aries Pratama Kurniawan[1] tentang penggunaan MPPT (*Maximum Power Point Tracker*) pada BTS dengan menggunakan baterai yang bertujuan mencari rasio daya pada PV. Rasio daya adalah perbandingan antara daya beban dengan daya maksimum dengan cara membagi daya beban dengan daya maksimal yang bisa dikeluarkan oleh PV. Diperoleh kesimpulan: PV tanpa baterai memiliki rasio daya sebesar 61,2 %, dan PV dengan baterai memiliki rasio daya sebesar 50,9 %.

Berdasarkan latar belakang di atas, dalam penelitian ini akan dilakukan studi pemanfaatan PV sebagai daya pendamping pada BTS sehingga menjadi BTS *Go Green* di BTS Nusa Penida. Untuk mengetahui perancangan PV sebagai stand alone di BTS Nusa Penida, akan dilakukan analisis aspek teknis dan biaya. *Metode Net Present Value* (NPV) dipakai menghitung selisih antara seluruh kas bersih nilai sekarang dengan investasi awal yang ditanamkan. *Profitability Index* (PI) merupakan perbandingan antara seluruh kas bersih nilai sekarang dengan investasi awal. *Discounted Payback Period* (DPP) adalah periode pengembalian yang didiskontokan.

Telah disimulasikan perancangan dan pengujian PV yang dihubungkan dengan baterai dan beban yaitu BTS. Pengujian ini dilakukan pada dua kondisi, yakni PV yang terhubung dengan BTS dan PV yang dihubungkan dengan baterai dan BTS.

2. STUDI PUSTAKA

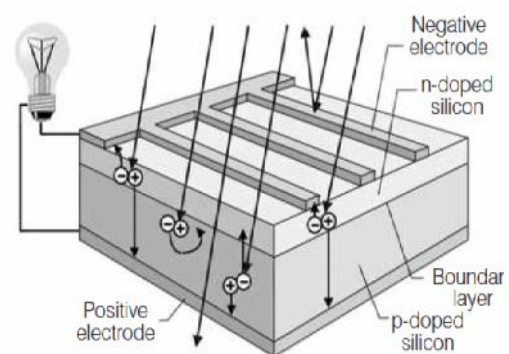
2.1 Sumber Energi Base Transceiver Station

BTS atau site sel merupakan perangkat vital yang diperlukan untuk memfasilitasi komunikasi seluler antara perangkat pengguna (UE) dan jaringan. UE adalah telepon seluler, komputer dengan perangkat *wireless internet-connectivity*, WiFi dan WiMAX. Selama ini konsumsi listrik BTS merupakan salah satu komponen pengeluaran yang cukup besar. Besarnya kebutuhan energi listrik pada

suatu BTS sangat tergantung pada peran BTS dan jumlah peralatan yang terpasang pada BTS itu.

2.2 Sel Surya

Sel surya tersusun dari dua lapisan semikonduktor dengan muatan yang berbeda. Lapisan atas sel surya bermuatan negatif sedangkan lapisan bawahnya bermuatan positif. Silikon adalah bahan semikonduktor yang paling umum digunakan untuk sel surya. Ketika cahaya mengenai permukaan sel surya, beberapa foton dari cahaya diserap oleh atom semikonduktor untuk membebaskan elektron dari ikatan atomnya sehingga menjadi elektron yang bergerak bebas. Adanya perpindahan elektron-elektron inilah yang menyebabkan terjadinya arus listrik [2]. Gambar 1 menunjukkan struktur dari sel surya.



Gambar 1. Struktur Sel Surya

2.3 Kapasitas Komponen PLTS

2.3.1 Jumlah Panel Surya

Daya (*Wpeak*) yang dibangkitkan PLTS untuk memenuhi kebutuhan energi, diperhitungkan dengan persamaan-persamaan sebagai berikut[3] :

2.3.1.1 Menghitung Area Array

Area array (PV Area) diperhitungkan dengan menggunakan rumus sebagai berikut :

$$PV \text{ area} = \frac{E_L}{G_{av} \eta_{PV} TCF \eta_{out}} \dots \dots \dots (1)$$

Dimana :

EL adalah pemakaian energi (kWh/hari). Gav adalah insolasi harian matahari rata-rata (kWh/m²/hari). PV adalah efisiensi panel surya. TCF adalah temperature correction factor. out adalah efisiensi inverter.

1.3.1.2 Menghitung Daya yang Dibangkitkan PLTS (Watt peak)

Dari perhitungan area array, maka besar daya yang dibangkitkan PLTS (Watt peak) dapat diperhitungkan dengan rumus sebagai berikut :

$$P \text{ Watt peak} = \text{Area array} \times \text{PSI} \times \text{PV} \dots \dots \dots (2)$$

Dimana :

PSI (*Peak Solar Insolation*) adalah 1000 W/m².

PV adalah efisiensi panel surya.

2.3.3 Kapasitas Baterai

Besar kapasitas baterai dapat dilihat pada rumus sebagai berikut: [4]

$$C = \frac{N \cdot EI}{D \cdot y \cdot \eta \cdot V} \dots \dots \dots (3)$$

Dimana:

N adalah asumsi beberapa hari dimana dikondisikan dengan cuaca yang mendung EI adalah rata rata pemakaian energi perhari D adalah maksimum discharge baterai adalah efisiensi dari inverter.

2.4 Teknik Analisis Kelayakan Investasi

2.4.1 Net Present Value (NPV)

Net Present Value (NPV) menyatakan bahwa seluruh aliran kas bersih dinilaisekarangkan atas dasar faktor diskonto (*discount factor*). Teknik ini menghitung selisih antara seluruh kas bersih nilai sekarang dengan investasi awal yang ditanamkan [6]. Untuk menghitung NPV dipergunakan rumus sebagai berikut :

$$NPV = \sum_{t=1}^n \frac{NCF_t}{(1+i)^t} - II \dots \dots \dots (4)$$

Dimana :

NCF_t = Net Cash Flow periode tahun ke-1 sampai tahun ke-n. II=Investasi awal (*Initial Investment*).

i=Tingkat diskonto. n= Periode dalam tahun (umur investasi).

Kriteria pengambilan keputusan apakah usulan investasi layak diterima atau layak ditolak adalah sebagai berikut :

- Investasi dinilai layak, apabila *Net Present Value* (NPV) bernilai positif (>0).
- Investasi dinilai tidak layak, apabila *Net Present Value* (NPV) bernilai negatif (<0).

2.4.2 Profitability Index (PI)

Profitability index merupakan perbandingan antara seluruh kas bersih nilai sekarang dengan investasi awal. Teknik ini juga sering disebut dengan model rasio manfaat biaya (*benefit cost ratio*). Teknik *Profitability Index* dihitung dengan rumus sebagai berikut :

$$PI = \frac{\sum_{t=1}^n NCF_t (1+i)^{-t}}{II} \dots \dots \dots (5)$$

Kriteria pengambilan keputusan apakah usulan iinvestasi layak diterima atau layak ditolak adalah sebagai berikut :Investasi dinilai layak, apabila *Profitability Index* (PI) bernilai lebih besar dari satu (>1).Investasi dinilai tidak layak, apabila *Profitability Index* (PI) bernilai lebih kecil dari satu (< 1).

2.4.3 Discounted Payback Period (DPP) Payback

Period adalah periode lamanya waktu yang dibutuhkan untuk mengembalikan nilai investasi melalui penerimaan-penerimaan yang dihasilkan oleh proyek (investasi). Sedangkan *Discounted Payback*

Period adalah periode pengembalian yang didiskontokan. DPP dapat dicari dengan menghitung berapa tahun kas bersih nilai sekarang (PVNCF) kumulatif yang ditaksir akan sama dengan investasi awal. Kriteria pengambilan keputusan apakah usulan investasi layak diterima atau layak ditolak adalah :Investasi dinilai layak, apabila DPP memiliki periode waktu lebih pendek dari umur proyek (*periode cutoff*).Investasi dinilai tidak layak, apabila DPP memiliki periode waktu lebih panjang dari umur proyek (*periode cutoff*).

3. METODE PENELITIAN

Penelitian tentang perancangan PV stand alone dilaksanakan pada di Pulau Nusa Penida. Waktu penelitian dilakukan mulai Januari 2012 sampai Juni 2012.Data primer merupakan data yang diperoleh berdasarkan survei langsung ke lokasi penelitian. Data-data tersebut antara lain adalah : data pengukuran listrik di BTS Nusa Penida juni 2012 dan data insolasi matahari dan data temperatur maksimum untuk wilayah pulau Nusa Penida dalam rentang waktu 2011. Sedangkan data sekunder adalah data yang diperoleh melalui literatur dan jurnal-jurnal yang berkaitan dengan perancangan PV stand alone dan data spesifikasi atau komponen BTS di Pulau Nusa Penida dan data spesifikasi atau komponen PV di BTS Ponu Provinsi NTT.

4. HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Profil Energi Listrik BTS Nusa Penida

Diketahui rata-rata pemakaian energi listrik per hari di BTS Nusa Penida pada kondisi pagi hari yaitu 58,22 Kwh.Untuk siang hari yaitu 57,56 Kwh. Dan rata-rata pemakaian energi listrik per hari di BTS Nusa Penida pada kondisi Malam hari yaitu 58,88 Kwh. Sehingga diketahui bahwa pemakaian energi listrik rata-rata per hari di BTS Nusa Penida dalam rentang waktu 1 bulan tersebut adalah sebesar 174,66 kWh.

4.2 Perencanaan PV (*Photovoltaic*)

PV yang akan dikembangkan pada BTS Nusa Penida di Pulau Nusa Penida direncanakan akan mensuplai energi listrik sebesar 25%. dari pemakaian energi listrik rata-rata BTS dalam rentang waktu Juni 2012.

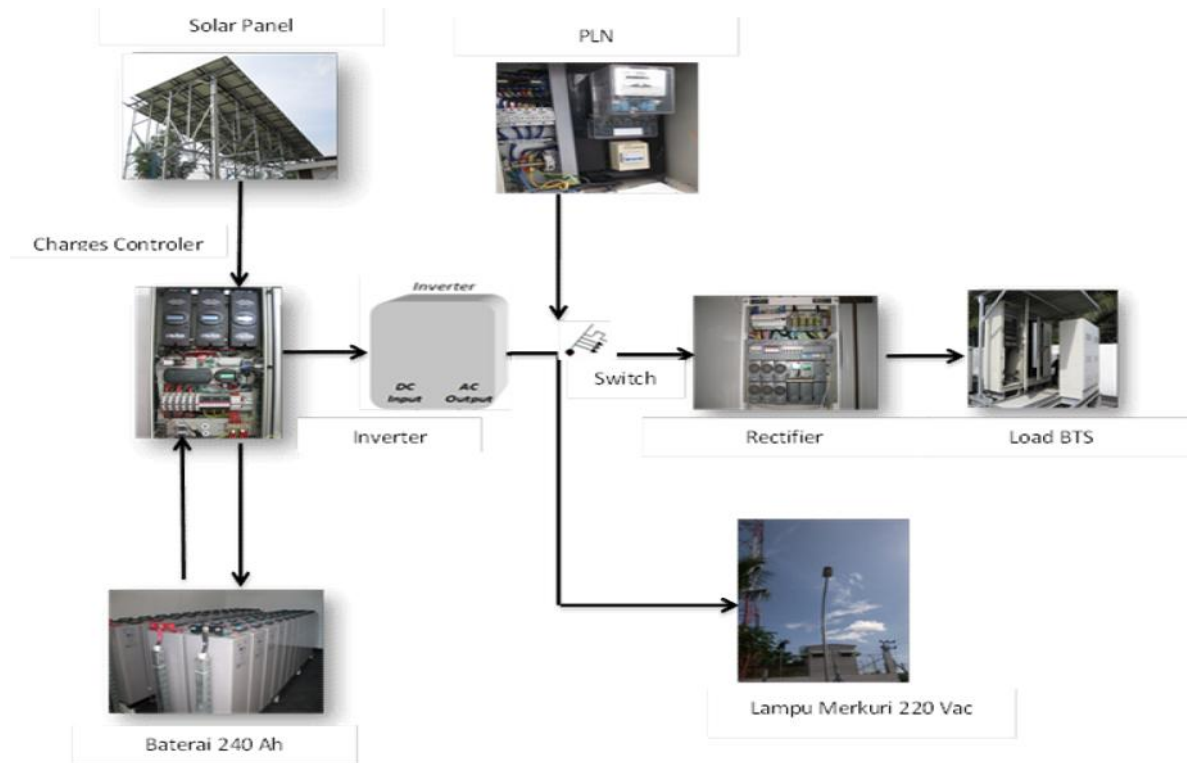
$$\begin{aligned} EL &= 25 \% \times \text{Pemakaian energi listrik BTS} \\ &= 25 \% \times 174,66 \text{ kWh} = 43,75 \text{ kWh} \end{aligned}$$

4.2.1 Menentukan Sistem PV

Dalam gambar 2 di bawah sistem penggunaan PV dengan PLN di BTS Nusa Penida. Dimana Panel PV akan menuju ke Charges Controler, dimana fungsinya sebagai stabiliser tegangan dan untuk menyediakan arus maximal pengecasan. Kemudian ke baterai dan inverter, pada inverter disini berfungsi untuk mengubah arus DC menjadi AC yang berfungsi untuk pada lampu halaman (merkuri). Disini terdapat

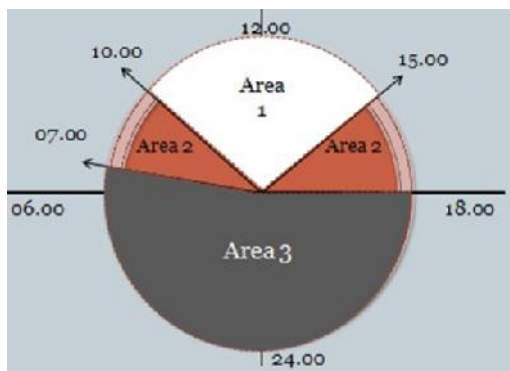
switch yaitu pemutus antara PLN dan arus dari PV, digunakan pada saat jam 6 sore untuk mencatu load BTS. Dari inverter kemudian ke rectifier dimana

fungsinya yaitu sebagai penyearah arus dari AC ke DC, kemudian ke load BTS.



Gambar 2. Wiring diagram sistem PV dengan PLN di BTS Nusa Penida

Berikut siklus harian kerja PV.



Gambar 3. Siklus harian kerja PV dengan PLN di BTS Nusa Penida

Dari Gambar 3 bisa kita lihat yaitu: Pada area 1 PV akan mencatu beban BTS dan baterai. Untuk area 2 PV akan mencatu beban BTS dan untuk area 3 PLN akan mencatu beban BTS. Jika terjadi pemadaman PLN, maka pada area 3 baterai yang akan mencatu beban BTS. Jika terjadi cuaca mendung atau hujan pada area 1 dan 2, maka PLN yang berfungsi. Dimana ada sistem switch yaitu pemutus antara PLN dan arus dari PV.

4.3 Menghitung Area Array (PV Area)

Besar pemakaian energi listrik (EL) BTS yang akan disuplai oleh PLTS adalah sebesar 43,75 kWh. Untuk nilai insolasi harian matahari (Gav) akan dipergunakan nilai insolasi rata-rata pada tahun 2011, yaitu sebesar 5,51 kWh/m² (data dapat dilihat pada tabel 4.4). Efisiensi panel surya (PV) ditentukan sebesar 15%, mengacu pada efisiensi panel surya 200W kyocera(KC200GT) yang sudah terpasang pada BTS Ponu area Flores Timur.

Tabel 1. Data Insolasi Harian Matahari di BTS Nusa Penida (kWh/m²/hari)[7]

| Bulan | Isolasi Harian |
|------------------|----------------|
| Januari | 5,07 |
| Pebruari | 5,97 |
| Maret | 6,76 |
| April | 6,87 |
| Mei | 6,13 |
| Juni | 5,18 |
| Juli | 5,20 |
| Agustus | 5,36 |
| September | 5,38 |
| Oktober | 5,17 |
| Nopember | 4,68 |
| Desember | 4,48 |
| Rata rata | 5,51 |

Untuk daya keluaran maksimum panel PV pada saat temperaturnya naik menjadi 28°C, diperhitungkan dengan rumus. PMPP saat naik menjadi toC = PMPP - Psaat t naik oC
 PMPP saat t = 28oC = 200W – 3W
 = 197 W

Berdasarkan hasil perhitungan daya keluaran maksimum panel PV pada saat temperaturnya naik menjadi 28oC, maka nilai TCF dapat dihitung dengan rumus 2.3 sebagai berikut :

$$TCF = (197 \text{ W}) / (200 \text{ W}) = 0,98$$

Efisiensi out (η -out) ditentukan pada PV yang dilengkapi dengan baterai, charge controller, dan inverter maka besar η -out adalah hasil perkalian antara efisiensi baterai, charge controller, dan inverter. Karena PV yang akan dikembangkan di BTS Nusa Penida ini hanya dilengkapi dengan inverter maka nilai η out ditentukan berdasarkan efisiensi inverter, yaitu sebesar 0,9. Sehingga PV Area didapat :

$$PV \text{ Area} = (43,75 \text{ kWh}) / (5,51 \text{ kWh/m}^2 \times 0,15 \times 0,98 \times 0,9) = 60,01 \text{ m}^2$$

4.3.1 Menghitung Daya yang Dibangkitkan PV (Watt peak)

Dari perhitungan area array, maka besar daya yang dibangkitkan PV dapat dihitung dengan rumus sebagai berikut :

$$P \text{ Watt peak} = \text{area array} \times \text{PSI} \times \text{PV}$$

Dengan area array adalah 60,01 m², Peak Sun Insolation (PSI) adalah 1000W/m² dan efisiensi panel surya adalah 15% maka :

$$P \text{ (Watt peak)} = 60,01 \text{ m}^2 \times 1000 \text{ W/m}^2 \times 0,15 \\ = 9001,5 \text{ Watt peak} = 9.0 \text{ KW peak}$$

4.3.2 Menghitung Kapasitas Komponen PV

4.3.2.1 Menghitung Jumlah Panel PV

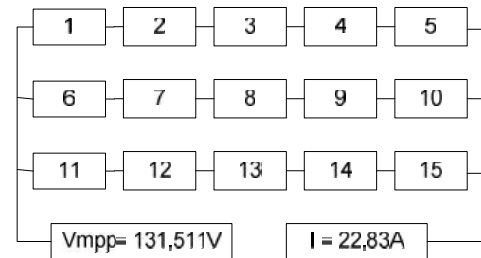
Panel PV yang dipergunakan sebagai acuan adalah panel PV yang terpasang pada PV di BTS Ponu area Flores Timur. Panel surya ini memiliki spesifikasi PMPP sebesar 200W kyocera (KC200GT) perpanel. Sehingga berdasarkan spesifikasi tersebut maka jumlah panel surya yang diperlukan untuk PV yang akan dikembangkan dapat diperhitungkan dengan rumus sebagai berikut:

$$5 \text{ Jumlah Panel PV} = P(\text{Watt peak}) / \text{PMPP} \\ = (9001,5 \text{ W}) / (200 \text{ W}) = 45,0075 = 45 \text{ panel}$$

Pada saat ini kebutuhan energi listrik BTS Nusa Penida disuplai oleh PLN dengan kapasitas daya sebesar 16,5 Kva. Kapasitas daya tersebut menunjukkan bahwa BTS ini termasuk pelanggan tiga fasa (3Ø) yang senantiasa harus menjaga agar instalasinya tetap seimbang pada setiap fasanya. Sehingga sebagai catu daya pendamping terhadap penggunaan energi listrik di BTS, PV tentu juga harus seimbang dalam mensuplai daya listrik. Berdasarkan hal tersebut maka dalam penelitian ini, PV yang akan dikembangkan akan dibagi menjadi 3 sistem satu fasa dengan jumlah panel pada masing-masing fasa adalah sebanyak 15 panel. Sehingga

jumlah total panel yang diperlukan untuk 3 sistem satu fasa adalah sebanyak 45 panel.

Dengan panel PV sebanyak 45 buah maka perfasa akan terdiri dari 15 buah panel PV. Dimana rangkaian panel ini akan membentuk satu fasa yang terdiri dari 3 rangkaian, dengan 1 rangkaian terdiri dari 5 panel PV yang terhubung secara seri.



Gambar 4. Array PV yang akan Dikembangkan di BTS Nusa Penida

Panel yang dipergunakan sebagai acuan adalah panel PV kyocera(KC200GT) dengan spesifikasi VMPP = 26,3V, IMPP = 7,61A dan PMPP = 200W per panel (spesifikasi panel PV BTS Nusa Penida). Dengan spesifikasi tersebut maka besar VMPP, IMPP dan PMPP pada array dapat diperhitungkan sebagai berikut : VMPP array adalah 26,3V x 5 = 131,5 V, IMPP array adalah 7,61A x 3 = 22,83 A dan PMPP array adalah 131,5V x 22,83A = 3.002,145 W (~3.000 W).

4.3.4 Kapasitas Baterai

Bila dilihat jam operasional BTS Nusa Penida yaitu beroperasi selama 24 jam per hari. Maka baterai memiliki peranan penting didalam menjaga kestabilan kubutuhan energi listrik dari BTS, apabila terjadi pemadaman listrik dari PLN ataupun cuaca yang buruk dimana PV tidak dapat beroperasi. Perhitungan total kapasitas baterai dapat dilihat pada rumus 7. Disini penulis akan menasumsi 3 hari cuaca mendung, maksimum dicharges baterai yaitu: 0,8 dan efisiensi inverter solivia 3.0 yaitu : 0,9.

$$C = \frac{131,25}{0,72} = 182,29 \text{ Kwh}$$

Jika tegangan baterai yang diperlukan 48 V, Maka total kapasitas baterai tersebut

$$182290 / 48 = 3797,70 = 3.800 \text{ Ah}$$

Jika baterai digunakan yaitu Sonnenschein A 600 solar seperti pada gambar 4.10 dengan kapasitas baterai 240 Ah maka total baterai yang dibutuhkan pada BTS Nusa Penida yaitu:

$$= 15,8 = 16 \text{ baterai}$$

4.4 Analisis Biaya PV

4.4.1 Biaya Energi PV Tanpa Baterai

Biaya energi PV berbeda dengan biaya energi untuk pembangkit konvensional. Hal ini karena biaya energi PV dipengaruhi oleh biaya investasi awal yang tinggi dengan biaya pemeliharaan dan operasional dan biaya penyusutan dari PV pertahun.

Biaya Investasi PV Tanpa Baterai.

Biaya investasi awal untuk PV yang akan dikembangkan di BTS Nusa Penida mencakup biaya-biaya seperti : biaya untuk komponen PV dan biaya

..

| No | Komponen | Juml | Harga (Rp) | Total Harga (Rp) |
|--------------------------------------|---|------|------------|------------------|
| Biaya komponen dan Instalasi PV | | | | |
| 1 | Panel PV | 45 | 10.033.290 | 451.498.050 |
| 2 | Instalasi kabel dan asesoris | 15 | 100.000 | 1.500.000 |
| 3 | Base sistem inverter SMC 8000TL | 1 | 13.038.138 | 13.038.138 |
| 4 | Biaya pengiriman | 1 | 5.000.000 | 5.000.000 |
| 5 | Biaya instalasi PV, Baterai dan base sistem | 1 | 15.000.000 | 15.000.000 |
| | Sub Total | | | 486.036.188 |
| Biaya Rak Panel PV dan Rumah Baterai | | | | |
| 6 | Besi pondasi PV | 6 | 650.000 | 3.900.000 |
| 7 | Besi siku 50.50.5 | 25 | 200.000 | 5.000.000 |
| 8 | Plat besi dengan baut 12mm | 250 | 55.000 | 13.750.000 |
| 9 | Rumah baterai | - | | |
| 10 | Batako, cat, semen dll | - | | 12.000.000 |
| 11 | Baut 7/16 | 400 | 2.700 | 1.080.000 |
| 12 | Cat finis besi penyangga PV | 15 | 55.000 | 825.000 |
| 13 | Thiner | 20 | 19.000 | 380.000 |
| | Sub Total | | | 51.935.000 |
| | Total | | | 537.971.188 |

..

Biaya Pemeliharaan dan Operasional

Berdasarkan penelitian di beberapa negara Eropa dan Mediterania, besarnya biaya pemeliharaan dan operasional ditentukan sebesar 1% [14]. Biaya tersebut sudah mencakup upah untuk pekerjaan pembersihan, biaya pemeliharaan panel surya dan pemeriksaan peralatan. Berdasarkan acuan tersebut maka pada penelitian ini besar presentase untuk biaya pemeliharaan dan operasional per tahun PV di BTS Nusa Penida akan ditetapkan sebesar 1% dari total biaya investasi awal. Adapun besar biaya pemeliharaan dan operasional (M) per tahun untuk PV yang akan dikembangkan adalah sebagai berikut :

$$\begin{aligned}
 M &= 1\% \times \text{Total biaya investasi} \\
 &= 0,01 \times \text{Rp. } 537.971.188 \\
 &= \text{Rp. } 5.379.711/\text{tahun}
 \end{aligned}$$

Biaya Siklus Hidup

Biaya siklus hidup atau *Life Cycle Cost* untuk PV yang akan dikembangkan di BTS Nusa Penida, ditentukan oleh nilai sekarang dari biaya total sistem PV yang terdiri dari biaya investasi awal (C) dan biaya jangka panjang untuk pemeliharaan dan operasional (MPW). Sehingga biaya siklus hidup (LCC) PV pada penelitian ini akan dihitung dengan rumus 2.9 sebagai berikut :

$$LCC = C + MPW$$

PV yang akan dikembangkan pada penelitian ini, diasumsikan beroperasi selama 25 tahun. Penetapan umur proyek ini mengacu kepada jaminan (garansi) yang dikeluarkan oleh produsen panel PV.

Besarnya tingkat diskonto (i) yang dipergunakan untuk menghitung nilai sekarang pada penelitian ini

adalah sebesar 12,24%. Penentuan tingkat diskonto ini mengacu kepada tingkat suku bunga kredit bank dari bulan januari 2012 samapai agustus 2012, waktu saat pengadaan PV ini di BTS Nusa Penida yaitu rata-rata sebesar 12,24% . Besar nilai sekarang (present value) untuk biaya pemeliharaan dan operasional (MPW) PV selama umur proyek 25 tahun dengan tingkat diskonto 12,24% dihitung dengan rumus sebagai berikut :

$$\begin{aligned}
 P &= A \left[\frac{(1+i)^n - 1}{i(1+i)^n} \right] \\
 &= \text{Rp. } 5.379.711 [16,934/2,195] \\
 &= \text{Rp. } 5.379.711 \times 7,8 = \text{Rp. } 41.961.746
 \end{aligned}$$

Berdasarkan biaya investasi awal (C) dan perhitungan MPW maka biaya siklus hidup (LCC) untuk PV yang akan dikembangkan selama umur proyek 25 tahun adalah sebagai berikut :

$$\begin{aligned}
 LCC &= C + MPW \\
 &= \text{Rp. } 537.971.188 + \text{Rp. } 41.961.746 \\
 &= \text{Rp. } 579.932.934
 \end{aligned}$$

Biaya Energi PV

Perhitungan biaya energi (*cost of energy*) suatu PV ditentukan oleh biaya siklus hidup (LCC), faktor pemulihan modal (CRF) dan kWh produksi tahunan. Biaya energi PV diperhitungkan dengan rumus sebagai berikut :

$$COE = (LCC \times CRF) / (A \text{ kWh})$$

Faktor pemulihan modal untuk mengkonversikan semua arus kas biaya siklus hidup menjadi serangkaian biaya tahunan, diperhitungkan dengan rumus sebagai berikut :

$$= 2,195/16,934 = 0,13$$

Sedangkan untuk kWh produksi tahunan PV diperhitungkan sebagai berikut :

$$\begin{aligned} A \text{ kWh} &= \text{kWh produksi harian} \times 365 \\ &= 29,80 \times 365 = 10.877 \text{ kWh} \end{aligned}$$

Berdasarkan hasil perhitungan LCC, CRF dan kWh produksi tahunan maka besar biaya energi (COE)

untuk PV yang akan dikembangkan di BTS Nusa Penida adalah sebagai berikut :

$$\begin{aligned} \text{COE} &= (\text{LCC} \times \text{CRF}) / (A \text{ kWh}) \\ &= (579.932.934 \times 0,13) / 10.877 \\ &= 75391281,39 / 10.877 \\ &= \text{Rp. } 6931,25 / \text{kWh} \\ &= \text{Rp. } 7.000 / \text{kWh} \end{aligned}$$

Tabel 3. Investasi PV Tanpa Baterai Perhitungan NCF, DF dan PVNCF dengan $i = 12,24\%$

| Tahun | Pemasukan | Pengeluaran | | Pendapatan | Dis. Factor | Present Value NCF | Kumulatif PVNCF |
|-------|------------------|----------------|-----------------|------------------|-------------|-------------------|------------------|
| | | O&M Cost | Penyusutan | | | | |
| 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1,0000 | | |
| 1 | Rp76.139.000,00 | Rp5.379.711,00 | Rp18.059.922,00 | Rp52.699.367,00 | 0,8909 | Rp46.952.393,98 | Rp51.647.633,37 |
| 2 | Rp77.677.007,80 | Rp5.488.381,16 | Rp17.337.525,12 | Rp54.851.101,52 | 0,8911 | Rp48.879.251,37 | Rp100.526.884,75 |
| 3 | Rp79.246.083,36 | Rp5.599.246,46 | Rp16.644.024,12 | Rp57.002.812,78 | 0,7939 | Rp45.257.214,51 | Rp145.784.099,25 |
| 4 | Rp80.846.854,24 | Rp5.712.351,24 | Rp15.978.263,15 | Rp59.156.239,85 | 0,7074 | Rp41.845.083,35 | Rp187.629.182,60 |
| 5 | Rp82.479.960,70 | Rp5.827.740,74 | Rp15.339.132,62 | Rp61.313.087,34 | 0,6302 | Rp38.641.093,07 | Rp226.270.275,67 |
| 6 | Rp84.146.055,90 | Rp5.945.461,10 | Rp14.725.567,32 | Rp63.475.027,49 | 0,5615 | Rp35.641.129,41 | Rp261.911.405,09 |
| 7 | Rp85.845.806,23 | Rp6.065.559,41 | Rp14.136.544,63 | Rp65.643.702,19 | 0,5003 | Rp32.839.305,86 | Rp294.750.710,94 |
| 8 | Rp87.579.891,52 | Rp6.188.083,71 | Rp13.571.082,84 | Rp67.820.724,96 | 0,4457 | Rp30.228.435,60 | Rp324.979.146,54 |
| 9 | Rp89.349.005,33 | Rp6.313.083,00 | Rp13.028.239,53 | Rp70.007.682,80 | 0,3971 | Rp27.800.415,64 | Rp352.779.562,19 |
| 10 | Rp91.153.855,23 | Rp6.440.607,28 | Rp12.507.109,95 | Rp72.206.138,01 | 0,3538 | Rp25.546.537,48 | Rp378.326.099,66 |
| 11 | Rp92.995.163,11 | Rp6.570.707,55 | Rp12.006.825,55 | Rp74.417.630,01 | 0,3152 | Rp23.457.736,57 | Rp401.783.836,24 |
| 12 | Rp94.873.665,41 | Rp6.703.435,84 | Rp11.526.552,53 | Rp76.643.677,04 | 0,2808 | Rp21.524.791,04 | Rp423.308.627,28 |
| 13 | Rp96.790.113,45 | Rp6.838.845,24 | Rp11.065.490,43 | Rp78.885.777,78 | 0,2502 | Rp19.738.478,18 | Rp443.047.105,46 |
| 14 | Rp98.745.273,74 | Rp6.976.989,92 | Rp10.622.870,81 | Rp81.145.413,01 | 0,2229 | Rp18.089.696,10 | Rp461.136.801,56 |
| 15 | Rp100.739.928,27 | Rp7.117.925,11 | Rp10.197.955,98 | Rp83.424.047,18 | 0,1986 | Rp16.569.556,83 | Rp477.706.358,39 |
| 16 | Rp102.774.874,82 | Rp7.261.707,20 | Rp9.790.037,74 | Rp85.723.129,88 | 0,1770 | Rp15.169.455,75 | Rp492.875.814,14 |
| 17 | Rp104.850.927,29 | Rp7.408.393,69 | Rp9.398.436,23 | Rp88.044.097,38 | 0,1577 | Rp13.881.121,88 | Rp506.756.936,02 |
| 18 | Rp106.968.916,02 | Rp7.558.043,24 | Rp9.022.498,78 | Rp90.388.374,00 | 0,1405 | Rp12.696.652,63 | Rp519.453.588,64 |
| 19 | Rp109.129.688,12 | Rp7.710.715,71 | Rp8.661.598,83 | Rp92.757.373,58 | 0,1251 | Rp11.608.535,90 | Rp531.062.124,55 |
| 20 | Rp111.334.107,82 | Rp7.866.472,17 | Rp8.315.134,87 | Rp95.152.500,78 | 0,1115 | Rp10.609.662,15 | Rp541.671.786,70 |
| 21 | Rp113.583.056,80 | Rp8.025.374,91 | Rp7.982.529,48 | Rp97.575.152,42 | 0,0993 | Rp9.693.328,44 | Rp551.365.115,14 |
| 22 | Rp115.877.434,55 | Rp8.187.487,48 | Rp7.663.228,30 | Rp100.026.718,77 | 0,0885 | Rp8.853.236,27 | Rp560.218.351,41 |
| 23 | Rp118.218.158,73 | Rp8.352.874,73 | Rp7.356.699,17 | Rp102.508.584,83 | 0,0789 | Rp8.083.484,53 | Rp568.301.835,94 |
| 24 | Rp120.606.165,53 | Rp8.521.602,80 | Rp7.062.431,20 | Rp105.022.131,54 | 0,0703 | Rp7.378.558,83 | Rp575.680.394,77 |
| 25 | Rp123.042.410,08 | Rp8.693.739,17 | Rp6.779.933,95 | Rp107.568.736,95 | 0,0626 | Rp6.733.318,02 | Rp582.413.712,79 |

Berdasarkan hasil perhitungan NCF, faktor diskonto dan nilai PVNCF pada tabel 3 maka NPV, PI dan DPP untuk PV yang akan dikembangkan dapat diperhitungkan. *Teknik Net Present Value* (NPV) diperhitungkan dengan rumus (4) diatas.

Tabel 4 menunjukkan bahwa total PVNCF yang merupakan hasil perkalian antara pendapatan adalah sebesar Rp.582.413.712 Sehingga dengan biaya investasi awal (Initial Investment) sebesar Rp. 537.971.188 maka besar nilai NPV adalah

$$\begin{aligned} \text{NPV} &= \text{Rp.}582.413.712 - \text{Rp. } 537.971.188 \\ &= \text{Rp. } 44.442.525 \end{aligned}$$

Hasil perhitungan NPV yang bernilai positif sebesar Rp. 44.442.525 (> 0), menunjukkan bahwa investasi PV yang akan dikembangkan di BTS Nusa Penida layak untuk dilaksanakan.

Teknik Profitability Index diperhitungkan dengan rumus (5) diperoleh sebagai berikut :

Dengan total nilai sekarang arus kas bersih sebesar Rp. 582.413.712 dan biaya investasi awal (Initial Investment) sebesar Rp. 537.971.188 maka besar nilai PI adalah :

$$\text{PI} = (582.413.712) / 537.971.188$$

$$= 1,08$$

Hasil perhitungan PI yang bernilai 1,08 (> 1), menunjukkan bahwa investasi PV yang akan dikembangkan di BTS Nusa Penida layak untuk dilaksanakan.

Discounted Payback Period (DPP) diperoleh dengan menghitung berapa tahun nilai PVNCF akan sama dengan nilai investasi awal.

Tabel 3 menunjukkan bahwa pada tahun ke-20, nilai PVNCF telah melewati nilai investasi awal yaitu sebesar Rp.3.700.598,70 yaitu dari Rp.541.671.786,70 - Rp.537.971.188. Dalam tahun ke-25, nilai keuntungan diperoleh yaitu Rp.40.741.926,09. Sehingga waktu yang diperoleh untuk mengembalikan modal awal didalam berinvestasi PV tanpa baterai yaitu di tahun ke 20. Sehingga pengembangan PV tanpa baterai di BTS Nusa Penida sangat layak. Hal ini karena DPP yang dihasilkan memiliki nilai yang lebih kecil dari periode umur proyek yang ditetapkan, yaitu selama 25 tahun.

4.4.2 Biaya Energi PV Dengan Baterai

Biaya energi PV dengan baterai akan dipengaruhi oleh biaya investasi awal yang tinggi dengan biaya pemeliharaan serta operasional dan biaya penyusutan dari PV dan baterai.

1. Biaya Investasi PV Dengan Baterai

Biaya investasi awal untuk PV yang akan dikembangkan di BTS Nusa Penida mencakup biaya-biaya seperti : biaya untuk komponen PV, biaya baterai, biaya untuk rak penyangga panel PV dan rumah baterai. Tabel 4 menunjukkan besarnya biaya investasi awal untuk PV yang akan dikembangkan di BTS Nusa Penida.

Tabel 4. Biaya Investasi PV Dengan Baterai di BTS Nusa Penida[8]

| No | Komponen | Juml | Harga (Rp) | Total Harga (Rp) |
|---|---|------|------------------|--------------------|
| Biaya komponen dan Instalasi PV | | | | |
| 1 | Panel PV | 45 | 10.033.290 | 451.498.050 |
| 2 | Baterai Sonnenschein A600solar (240Ah) | 16 | 7.875.000 | 126.000.000 |
| 3 | Instalasi kabel dan asesoris | 15 | 100.000 | 1.500.000 |
| 4 | Base sistem inverter SMC 8000TL | 1 | 13.038.138 | 13.038.138 |
| 5 | Biaya pengiriman | 1 | 5.000.000 | 5.000.000 |
| | Biaya instalasi PV, Baterai dan base sistem | 1 | 15.000.000 | 15.000.000 |
| | | | Sub Total | 612.036.188 |
| Biaya Rak Panel PV dan Rumah Baterai | | | | |
| 7 | Besi pondasi PV | 6 | 650.000 | 3.900.000 |
| 8 | Besi siku 50.50.5 | 25 | 200.000 | 5.000.000 |
| 9 | Plat besi dengan baut 12mm | 250 | 55.000 | 13.750.000 |
| 10 | Rumah baterai | - | | |
| 11 | Batako, cat, semen dll | - | | 12.000.000 |
| 12 | Baut 7/16 | 400 | 2.700 | 1.080.000 |
| 13 | Cat finis besi penyangga PV | 15 | 55.000 | 825.000 |
| 14 | Thiner | 20 | 19.000 | 380.000 |
| | | | Sub Total | 51.935.000 |
| | | | Total | 663.971.188 |

2. Biaya Pemeliharaan dan Operasional

Untuk perhitungan biaya pemeliharaan dan operasional akan sama mengacu pada perhitungan PV tanpa baterai. Adapun besar biaya pemeliharaan dan operasional (M) per tahun untuk PV yang akan dikembangkan adalah sebagai berikut :

$$M = 1\% \times \text{Total biaya investasi} \\ = 0,01 \times \text{Rp. } 663.971.188 = \text{Rp. } 6.639.711/\text{tahun}$$

3. Biaya Siklus Hidup

Untuk perhitungan biaya siklus hidup adalah mengacu pada perhitungan PV tanpa baterai. Besar nilai sekarang (*present value*) untuk biaya pemeliharaan dan operasional (MPW) PV selama umur proyek 25 tahun dengan tingkat diskonto 12,24% dihitung dengan rumus sebagai berikut :

$$P = \text{Rp. } 6.639.711 [16,934/2,195] \\ = \text{Rp. } 6.639.711 \times 7,8 = \text{Rp. } 51.789.746$$

Berdasarkan biaya investasi awal (C) dan perhitungan MPW maka biaya siklus hidup (LCC) untuk PV yang akan dikembangkan selama umur proyek 25 tahun adalah sebagai berikut :

$$\text{LCC} = \text{Rp. } 663.971.188 + \text{Rp. } 51.789.746 \\ = \text{Rp. } 715.760.934$$

4. Biaya Energi PV

Perhitungan biaya energi suatu PV ditentukan oleh biaya siklus hidup (LCC), faktor pemulihan modal (CRF) dan kWh produksi tahunan. Biaya energi PV diperhitungkan dengan rumus sebagai berikut :

Faktor pemulihan modal untuk mengkonversikan semua arus kas biaya siklus hidup (LCC) menjadi serangkaian biaya tahunan, diperhitungkan dengan rumus sebagai berikut :

$$\text{CRF} = 2,195/16,934 = 0,13$$

Sedangkan untuk kWh produksi tahunan PV diperhitungkan sebagai berikut :

$$A \text{ kWh} = \text{kWh produksi harian} \times 365 \\ = 29,80 \times 365 = 10.877 \text{ kWh}$$

Berdasarkan hasil perhitungan LCC, CRF dan kWh produksi tahunan maka besar biaya energi (COE) untuk PV yang akan dikembangkan di BTS Nusa Penida adalah sebagai berikut :

$$\text{COE} = (\text{LCC} \times \text{CRF}) / (A \text{ kWh}) \\ = (715.760.934 \times 0,13) / 10.877 \\ = 93048921,39 / 10.877 \\ = \text{Rp. } 8554,649 / \text{kWh} \\ \sim \text{Rp. } 8.600 / \text{kWh}$$

| Tahun | Pemasukan | Pengeluaran | | Pendapatan | Dis. Factor | Present Value NCF | Kumulatif PVNCF | |
|-------|------------------|-----------------|-----------------|----------------|------------------|-------------------|-----------------|------------------|
| | | O&M Cost | Penyusutan | | | | | |
| | | | Panel PV | | | | | Baterai |
| 0 | 0 | 0 | | 0 | 1,0000 | | | |
| 1 | Rp69.542.200,00 | Rp5.639.711,00 | Rp18.059.922,00 | Rp7.056.000,00 | Rp61.786.567,00 | 0,8909 | Rp55.048.615,36 | Rp55.048.616,36 |
| 2 | Rp95.431.752,44 | Rp5.773.833,15 | Rp17.337.525,12 | Rp6.660.864,00 | Rp64.659.530,16 | 0,8911 | Rp57.619.793,70 | Rp112.668.415,06 |
| 3 | Rp97.359.473,84 | Rp5.910.654,59 | Rp16.644.024,12 | Rp6.287.855,62 | Rp67.516.929,52 | 0,7939 | Rp53.604.865,37 | Rp166.273.281,43 |
| 4 | Rp99.326.135,21 | Rp7.050.250,02 | Rp15.978.263,15 | Rp5.935.735,70 | Rp70.361.876,34 | 0,7074 | Rp49.771.564,05 | Rp216.044.845,48 |
| 5 | Rp101.332.523,14 | Rp7.192.675,27 | Rp15.339.132,62 | Rp5.603.334,50 | Rp73.197.380,75 | 0,6302 | Rp45.130.882,08 | Rp262.175.727,55 |
| 6 | Rp103.379.440,11 | Rp7.337.957,31 | Rp14.725.567,32 | Rp5.289.547,77 | Rp76.026.357,71 | 0,5615 | Rp42.688.681,85 | Rp304.864.409,41 |
| 7 | Rp105.467.704,80 | Rp7.485.194,25 | Rp14.136.544,63 | Rp4.993.333,09 | Rp78.851.632,83 | 0,5003 | Rp39.445.783,19 | Rp344.311.192,59 |
| 8 | Rp107.598.152,44 | Rp7.637.415,37 | Rp13.571.082,84 | Rp4.713.706,44 | Rp81.675.947,78 | 0,4457 | Rp35.403.853,28 | Rp380.715.051,87 |
| 9 | Rp109.771.635,12 | Rp7.791.631,15 | Rp13.028.239,53 | Rp4.449.738,88 | Rp84.501.965,54 | 0,3971 | Rp33.555.170,85 | Rp414.271.222,72 |
| 10 | Rp111.989.022,15 | Rp7.949.033,33 | Rp12.507.109,95 | Rp4.200.553,50 | Rp87.332.275,37 | 0,3538 | Rp30.893.165,10 | Rp445.169.388,82 |
| 11 | Rp114.251.200,39 | Rp8.109.654,81 | Rp12.006.825,55 | Rp3.965.322,51 | Rp90.169.397,53 | 0,3152 | Rp28.422.963,77 | Rp473.592.357,59 |
| 12 | Rp116.559.074,64 | Rp8.273.459,84 | Rp11.526.552,53 | Rp3.743.264,45 | Rp93.015.787,83 | 0,2808 | Rp25.122.773,26 | Rp499.715.130,85 |
| 13 | Rp118.913.567,55 | Rp8.440.593,93 | Rp11.065.490,43 | Rp3.533.641,64 | Rp95.873.841,96 | 0,2502 | Rp23.983.162,44 | Rp523.704.293,29 |
| 14 | Rp121.315.622,02 | Rp8.611.033,92 | Rp10.622.870,81 | Rp3.335.757,71 | Rp98.745.899,58 | 0,2229 | Rp22.013.361,55 | Rp545.717.654,84 |
| 15 | Rp123.766.197,59 | Rp8.785.038,02 | Rp10.197.955,98 | Rp3.148.555,27 | Rp101.634.248,31 | 0,1986 | Rp20.185.439,17 | Rp565.904.094,01 |
| 16 | Rp126.266.274,78 | Rp8.962.495,79 | Rp9.790.037,74 | Rp2.972.613,78 | Rp104.541.127,47 | 0,1770 | Rp18.499.464,60 | Rp584.403.558,61 |
| 17 | Rp128.816.853,53 | Rp9.143.538,20 | Rp9.398.436,23 | Rp2.806.147,41 | Rp107.468.731,65 | 0,1577 | Rp16.943.629,46 | Rp601.347.188,08 |
| 18 | Rp131.418.953,97 | Rp9.328.237,63 | Rp9.022.498,78 | Rp2.649.003,15 | Rp110.419.214,36 | 0,1405 | Rp15.510.339,95 | Rp616.857.528,03 |
| 19 | Rp134.073.616,84 | Rp9.515.658,03 | Rp8.661.598,83 | Rp2.056.000,00 | Rp108.839.349,93 | 0,1251 | Rp13.621.185,68 | Rp630.478.714,71 |
| 20 | Rp136.781.903,90 | Rp9.708.904,77 | Rp8.315.134,87 | Rp6.660.864,00 | Rp112.097.000,25 | 0,1115 | Rp12.499.002,03 | Rp642.977.716,74 |
| 21 | Rp139.544.898,36 | Rp9.905.024,65 | Rp7.982.529,48 | Rp6.287.855,62 | Rp115.369.488,61 | 0,0993 | Rp11.461.055,60 | Rp654.438.773,35 |
| 22 | Rp142.363.705,30 | Rp10.105.106,15 | Rp7.663.228,30 | Rp5.935.735,70 | Rp118.659.635,16 | 0,0885 | Rp10.502.411,74 | Rp664.941.185,08 |
| 23 | Rp145.239.452,15 | Rp10.309.229,29 | Rp7.356.699,17 | Rp5.603.334,50 | Rp121.970.189,19 | 0,0789 | Rp9.613.161,64 | Rp674.559.346,72 |
| 24 | Rp148.173.289,09 | Rp10.517.475,72 | Rp7.062.431,20 | Rp5.289.547,77 | Rp125.303.834,39 | 0,0703 | Rp8.803.494,08 | Rp683.362.840,80 |
| 25 | Rp151.166.389,52 | Rp10.729.928,73 | Rp6.779.933,95 | Rp4.993.333,09 | Rp128.663.193,74 | 0,0626 | Rp8.053.735,92 | Rp691.416.576,73 |

Teknik Net Present Value (NPV)

Tabel 5 menunjukkan bahwa total PVNCF yang merupakan hasil perkalian antara pendapatan dengan faktor diskonto adalah sebesar Rp.691.416.576,73. Sehingga dengan biaya investasi awal (*Initial Investment*) sebesar Rp.663.971.188 maka besar nilai NPV adalah :

$$\begin{aligned} \text{NPV} &= \text{Rp. 691.416.576,73} - \text{Rp. 663.971.188} \\ &= \text{Rp. 27.445.388,73} \end{aligned}$$

Hasil perhitungan NPV yang bernilai positif sebesar Rp. 27.445.388,73 (> 0), menunjukkan bahwa investasi PV yang akan dikembangkan di BTS Nusa Penida layak untuk dilaksanakan.

Teknik Profitability Index

Dengan total nilai sekarang arus kas bersih sebesar Rp. 691.416.576,73 dan biaya investasi awal (*Initial Investment*) sebesar Rp. 663.971.188 maka besar nilai PI adalah :

$$\text{PI} = (691.416.576,73) / 663.971.188 = 1,04$$

Hasil perhitungan PI yang bernilai 1,04 (> 1), menunjukkan bahwa investasi PV yang akan dikembangkan di BTS Nusa Penida layak untuk dilaksanakan.

Discounted Payback Period (DPP) diperoleh dengan menghitung berapa tahun nilai PVNCF akan sama dengan nilai investasi awal. Tabel 4.16 menunjukkan bahwa pada tahun ke-22, nilai PVNCF telah melewati nilai investasi awal yaitu sebesar Rp.969.997 yaitu dari Rp.664.941.185,08 - Rp.663.971.188. Dalam tahun ke-25, nilai keuntungan diperoleh yaitu Rp.36.977.803,38. Sehingga waktu yang diperoleh untuk mengembalikan modal awal didalam berinvestasi PV dengan baterai yaitu di tahun ke 22. Sehingga pengembangan PV dengan baterai di BTS Nusa Penida sangat layak. Hal ini karena DPP yang dihasilkan memiliki nilai yang lebih kecil dari periode umur proyek yang ditetapkan, yaitu selama 25 tahun.

5. SIMPULAN

Berdasarkan perancangan *stand alone photovoltaic* (PV) untuk sebagai catu daya di BTS yang dilakukan dengan mempertimbangkan aspek teknik dan aspek biaya di BTS Nusa Penida, maka dapat disimpulkan bahwa :

Berdasarkan hasil perhitungan, untuk mensuplai beban BTS sebesar 174,66 kWh diperlukan 45 panel, PV dibagi menjadi 3 sistem satu fasa dengan jumlah panel pada masing-masing fasa adalah sebanyak 15 panel. Dengan spesifikasi 1 fasa adalah sebagai berikut : VMPP array adalah $26,3 \times 5 = 131,5$ V, IMPP array adalah $7,61 \times 3 = 22,83$ A dan PMPP array adalah $131,5 \times 22,83 = 3.002,145$ W (~3.000 W). Hasil perhitungan total kapasitas baterai yaitu 3.800 Ah dan total baterai yang dibutuhkan di BTS Nusa Penida adalah 16 unit.

Analisis kelayakan investasi PV tanpa baterai dan PV dengan baterai yang dilakukan dengan menggunakan NPV, PI dan DPP diperoleh hasil sebagai berikut:

a) PV tanpa baterai

Untuk hasil perhitungan NPV bernilai positif sebesar Rp. 44.442.525 (> 0), perhitungan PI yang bernilai $1,08(>1)$ dan nilai DPP PV tanpa baterai dihasilkan waktu untuk pengembalian modal awal investasi yaitu ke tahun 20.

b) PV dengan baterai

Untuk hasil perhitungan NVP bernilai positif sebesar 27.445.388,73(>0), nilai PI untuk PV dengan baterai $1,04(>0)$ dan nilai DPP PV dengan baterai dihasilkan waktu untuk pengembalian modal awal investasi yaitu ke tahun 22. Dari kedua data diatas menunjukkan bahwa investasi PV, baik PV tanpa baterai dan PV dengan baterai yang dikembangkan di BTS Nusa Penida layak untuk dilaksanakan.

6. DAFTAR PUSTAKA

- [1]. Aries Pratama Kurniawan , “Optimalisasi Sel Surya Menggunakan *Maximum Power Point Tracker* (MPPT) Sebagai *Catu Daya Base Transceiver Station* (BTS)” (2010).
- [2]. Ouaschnig, V. 2005. “Understanding Renewable Energy Systems”. London : Earthscan.
- [3]. Nafeh, A.E.A. 2009. “Design and Economic Analysis of a *Stand-Alone PV System to Electrify a Remote Area Household in Egypt*”. *The Open Renewable Energy Journal* 2 : 33-37
- [4]. Lynn, P.A. 2010. *Electricity from Sunlight : An Introduction to Photovoltaic*. 1nd edition. London : John Wiley & Sons, Ltd.
- [5]. PT. Hariif Daya Tunggal Engineering, 2010.
- [6]. Halim, A. 2009. Analisis Kelayakan Investasi Bisnis. Yogyakarta : Graha Ilmu.
- [7]. <http://eosweb.larc.nasa.gov/>. Diunduh tanggal 2 Mei 2011
- [8]. PT. Hariif Daya Tunggal Engineering, 2012.