

## KAJIAN PEMANFAATAN STAND ALONE PHOTOVOLTAIC SYSTEM UNTUK PENERANGAN JALAN UMUM DI PULAU NUSA PENIDA

**I.W. Yudi Martha Wiguna, W. G. Ariastina, I. N. Satya Kumara.**

Program Magister Teknik Elektro, Fakultas Teknik Universitas Udayana

Jl. PB Sudirman Denpasar, Bali, Telp/Fax : 0361 239599

Email : yudimarhawiguna@gmail.com

### Abstrak

Nusa Penida merupakan sebuah pulau di tenggara pulau Bali dengan jumlah penduduk 47.448 jiwa. Ketersediaan daya pembangkit PLN di pulau Nusa Penida adalah sebesar 3200 kW. Dengan beban puncak sebesar 2530 kW maka cadangan listrik saat ini hanya sebesar 670 kW. Hal itu menyebabkan krisis listrik sangat terasa bagi masyarakat di daerah terpencil seperti di Pulau Nusa Penida. Saat ini salah satu solusi yang memungkinkan adalah mengembangkan sumber energi terbarukan. Di Pulau Nusa Penida sudah dikembangkan PLTS. Bahkan PLTS di Pulau Nusa Penida dikembangkan juga pada sistem penerangan jalan umum. Pada penelitian ini dilakukan analisa teknis dan biaya untuk mengetahui kelayakan Sistem PJU-TS tersebut. Pada analisa teknis dilakukan pengukuran output tegangan dan arus dari PV Panel ke *Charger Controller*, dari *Charger Controller* ke baterai dan ke beban. Analisa teknis menghasilkan bahwa penyebab kerusakan baterai karena kapasitas pembangkitan tidak sebanding dengan kebutuhan kapasitas beban PJU-TS. Dengan kapasitas baterai yang terus kecil akan menyebabkan kerusakan pada baterai. Selain itu karena usia baterai yang sudah lama. Analisa biaya dilakukan dengan 3 skenario dengan tingkat IRR yang ingin dicapai sebesar 10, 11, dan 12 %. Dihasilkan harga jual yang pantas untuk energi listrik PJU-TS Nusa Penida berkisar antara Rp.29.194,00 s/d Rp.31.585,00 per kWh.

Kata Kunci : Nusa Penida, PLTS, PJU-TS

### 1. PENDAHULUAN

Suatu kenyataan yang terjadi dalam beberapa tahun belakangan ini di Indonesia adalah masalah krisis energi listrik. Hampir semua wilayah Indonesia bahkan di wilayah Jawa dan Bali yang memiliki infrastruktur yang baik pun juga ikut merasakan krisis listrik. Adapun penyebab utama krisis listrik diantaranya yaitu, kapasitas pembangkit yang tersedia sudah tidak mencukupi tapi penyambungan pelanggan baru tetap dilakukan. Kemudian sarana dan prasarana energi, jaringan transmisi, dan jaringan distribusi sudah tidak memadai.

Untuk mengatasi masalah krisis energi listrik tersebut, salah satu solusi yang memungkinkan adalah dengan mengembangkan Energi Terbarukan (*Renewable Energy*). Energi terbarukan, seperti energi matahari, panas bumi, angin, *hydro*, biomasa, dan energi samudera merupakan energi yang ramah lingkungan yang rendah emisi, sehingga mendukung pembangunan berkelanjutan. Selain itu jenis energi ini spesifik lokal dan tersedia dimana pun sehingga sejalan dengan konsep desentralisasi atau otonomi daerah. Seperti daerah-daerah lainnya di Indonesia, bagi daerah terpencil seperti Pulau Nusa Penida, energi listrik merupakan suatu kebutuhan yang sangat penting terutama untuk kegiatan perekonomian dan penunjang transportasi darat.

Saat ini sistem kelistrikan tiga pulau di kecamatan Nusa Penida telah terinterkoneksi. Total

daya pembangkit sistem hibrida PLN Area Bali Timur Rayon Klungkung Teknik Nusa adalah sebesar 3200 kW. Dengan beban puncak sebesar 2530 kW maka cadangan listrik saat ini hanya sebesar 670 kW. Kondisi cadangan listrik yang minim membuat PLN belum dapat memenuhi seluruh peningkatan kebutuhan energi listrik di Nusa Penida. Ini terlihat dari belum terlayannya calon pelanggan baru dan pelanggan tambah daya. Selain itu juga sering terjadinya pemadaman listrik. Akibatnya, masyarakat Pulau Nusa Penida menjadi tidak nyaman karena banyak kegiatan mereka menjadi terganggu. Terutama kegiatan pada malam hari yang membutuhkan penerangan listrik.

Dari survey awal yang dilakukan, penerangan jalan sudah ada di semua lokasi-lokasi penting di Pulau Nusa Penida. Energi listrik untuk penerangan jalan umum tersebut disuplai dari PLN. Selain itu, untuk Pulau Nusa Penida sendiri sejak awal tahun 2009 lalu terdapat 20 unit Penerangan Jalan Umum Tenaga Surya (PJU-TS) yang terpasang di daerah Kutampi Kaler sampai ke daerah Telaga. Namun akhir-akhir ini banyak unit PJU tersebut tidak berfungsi lagi atau dalam kondisi padam, sehingga membahayakan keselamatan pengendara bermotor maupun pejalan kaki, mengingat daerah tersebut yang merupakan daerah dataran tinggi dengan kondisi jalan yang tidak baik dan medan yang curam.

Dengan melihat kondisi Pemanfaatan *Stand Alone Photovoltaic System* (PLTS) Untuk

Penerangan Jalan Umum Di Pulau Nusa Penida, maka hal tersebut menjadi penting untuk diteliti agar kita dapat mengetahui kelayakannya dari segi teknis dan ekonominya.

Untuk mengetahui kelayakan pemanfaatan *Stand Alone Photovoltaic System* sebagai catu daya pada sistem penerangan jalan di Pulau Nusa Penida, akan dilakukan analisis dari dua aspek yaitu aspek teknis dan aspek biaya. Adapun analisis dari aspek teknis meliputi : *review existing* unit sistem penerangan jalan umum yang tersedia, analisa terhadap lokasi penempatan unit-unit sistem penerangan jalan umum, menganalisa kerusakan-kerusakan yang terjadi pada komponen-komponen sistem penerangan jalan tersebut. Setelah itu menghitung daya yang dibangkitkan PJU-TS, menghitung kapasitas komponen PJU-TS, menghitung kWh produksi PJU-TS, kemudian meninjau kembali jenis pemeliharaan apa saja yang telah dilakukan pihak pengelola selama ini.

Sedangkan dari aspek biaya dilakukan dengan menggunakan metode *Cost & Benefit Analysis*. Mengingat proyek pengadaan unit PJU-TS ini merupakan bantuan dari pemerintah, dan masyarakat Pulau Nusa Penida tidak dikenakan biaya retribusi, maka dipilih metode *Cost & Benefit* untuk mengetahui harga jual yang layak untuk energi listrik PJU-TS agar proyek tersebut memperoleh profit. Sehingga apabila akan diadakan penambahan unit, baik pemerintah, pihak pengelola dan masyarakat Pulau Nusa Penida dapat menjaga keberlangsungan unit-unit PJU-TS di tahun-tahun yang akan datang.

## 1. PENERANGAN JALAN UMUM TENAGA SURYA (PJU-TS)

Sampai saat ini, banyak sekali penelitian tentang sistem PLTS yang dilakukan baik di Indonesia maupun di Luar Negeri. Dan penerapannya pun berbeda-beda untuk masing-masing penelitian. Namun untuk penelitian tentang pemanfaatan sistem PLTS untuk lampu penerangan jalan khususnya di Pulau Nusa Penida – Bali belum pernah dilakukan.

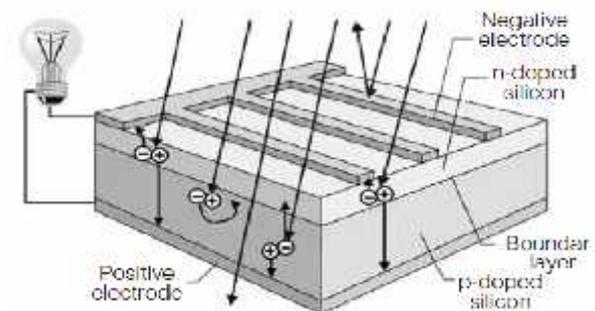
### 2.1 Pembangkit Listrik Tenaga Surya

Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) adalah suatu pembangkit yang mengkonversikan energi foton dari surya menjadi energi listrik. Konversi ini terjadi pada panel surya yang terdiri dari sel-sel surya. PLTS memanfaatkan cahaya matahari untuk menghasilkan listrik DC (*Direct Current*), yang dapat diubah menjadi listrik AC (*Alternating Current*) apabila diperlukan. PLTS pada dasarnya adalah pencatu daya dan dapat dirancang untuk mencatu kebutuhan listrik dari yang kecil sampai dengan yang besar, baik secara mandiri maupun hibrida.

### 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 [1]. Gambar 1 menunjukkan struktur dari sel surya.



Gambar 1. Struktur Sel Surya

## 2.3 Komponen-komponen PLTS

Pemanfaatan tenaga surya sebagai pembangkit tenaga listrik, umumnya terdiri dari komponen-komponen sebagai berikut :

### a. Panel (Modul) Surya

Panel surya merupakan komponen yang berfungsi untuk mengubah energi sinar matahari menjadi energi listrik. Panel ini tersusun dari beberapa sel surya yang dihubungkan secara seri maupun paralel. Panel Surya mengubah intensitas sinar matahari menjadi energi listrik.

### b. Charger Controller

Solar Charge Controller adalah peralatan elektronik yang digunakan untuk mengatur arus searah yang diisi ke baterai dan diambil dari baterai ke beban. Solar charge controller mengatur overcharging (kelebihan pengisian - karena batere sudah 'penuh') dan kelebihan voltase dari panel surya. Kelebihan voltase dan pengisian akan mengurangi umur baterai.

### c. Baterai

Baterai adalah komponen PLTS yang berfungsi menyimpan energi listrik yang dihasilkan oleh panel surya pada siang hari, untuk kemudian dipergunakan pada malam hari dan pada saat cuaca mendung. Baterai yang dipergunakan pada PLTS mengalami proses siklus mengisi (*Charging*) dan mengosongkan (*Discharging*), tergantung pada ada atau tidaknya sinar matahari.

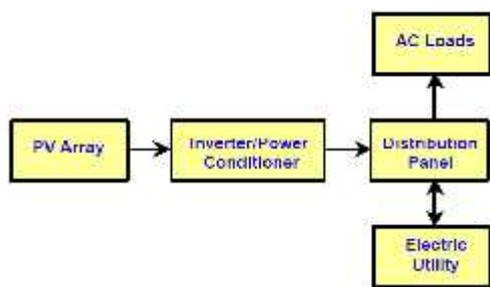
### d. Inverter

Inverter adalah peralatan elektronika yang berfungsi untuk mengubah arus listrik searah (*direct current*) dari panel surya atau baterai menjadi arus

listrik bolak-balik (*alternating current*) dengan frekuensi 50Hz/60Hz. Pemilihan inverter yang tepat untuk aplikasi tertentu, tergantung pada kebutuhan beban dan juga tergantung pada apakah inverter akan menjadi bagian dari sistem yang terhubung ke jaringan listrik atau sistem yang berdiri sendiri. Efisiensi inverter pada saat pengoperasian adalah sebesar 90% [2].

**PLTS-Grid Connected**

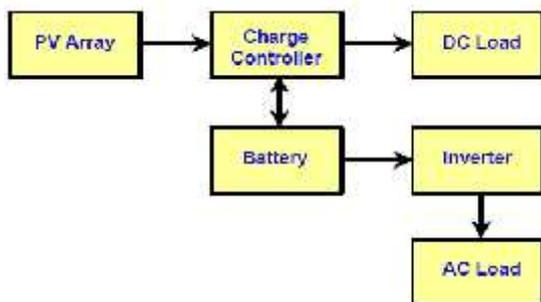
Sistem *PLTS-Grid Connected* pada dasarnya adalah menggabungkan PLTS dengan jaringan listrik (PLN). Komponen utama dalam sistem ini adalah inverter, atau *Power Conditioning Unit* (PCU). Inverter inilah yang berfungsi untuk mengubah daya DC yang dihasilkan oleh PLTS menjadi daya AC sesuai dengan persyaratan dari jaringan listrik yang terhubung (*utility grid*). [3]



Gambar 2. Diagram Sistem PLTS-Grid Connected

**PLTS Berdiri Sendiri (Stand- Alone)**

Sistem PLTS yang berdiri sendiri (*Stand-Alone*) dirancang beroperasi mandiri untuk memasok beban DC atau AC. Jenis sistem ini dapat diaktifkan oleh *array photovoltaic* saja, atau dapat menggunakan sumber tambahan energi lain, seperti : air, angin dan mesin diesel. Baterai digunakan pada kebanyakan sistem PLTS yang berdiri sendiri untuk penyimpanan energi. [3]. Gambar 3 menunjukkan diagram dari PLTS yang berdiri sendiri.



Gambar 3. Diagram Sistem PLTS Berdiri Sendiri dengan Baterai

**2.4 Penerangan Jalan Umum Tenaga Surya (PJU-TS) di Pulau Nusa Penida.**

Pemanfaatan tenaga matahari sebagai sumber energi listrik untuk Penerangan Jalan Umum Tenaga

Surya (PJU-TS) di Pulau Nusa Penida sebenarnya sudah terpasang sejak 3 tahun yang lalu. Untuk Pulau Nusa Penida sendiri terdapat 20 unit PJU-TS yang terpasang di daerah Kutampi Kaler sampai ke daerah Telaga.



Gambar 4. Penerangan Jalan Umum Tenaga Surya di Pulau Nusa Penida

**2.5 Teknik Analisis Kelayakan Investasi**

**2.5.1 Net Present Value (NPV)**

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

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

Dimana :

NCF<sub>t</sub> = *Net Cash Flow* periode tahun ke-1 sampai tahun ke-n.

II = Investasi awal (*Initial Investment*).

i = Tingkat diskonto.

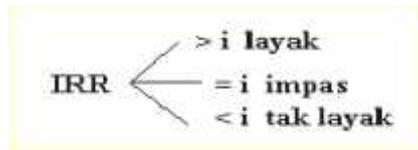
N = Periode dalam tahun (umur investasi).

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

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

**2.5.2 Internal Rate of Return (IRR)**

IRR (Tingkat Pengembalian Internal) didefinisikan sebagai tingkat pengembalian investasi yang dihasilkan suatu proyek yang diukur dengan membandingkan cash flow yang dihasilkan proyek dengan investasi yang dikeluarkan untuk proyek tersebut.



### 2.5.3 B/C Ratio

Kriteria yang digunakan dalam alat analisis ini adalah apabila rasio B/C > 1 akan berimplikasi proyek tersebut layak di pilih. Sebaliknya, apabila rasio kotor B/C < 1, maka proyek tersebut tidak layak dipilih dan dijalankan. [4].

## 2. HASIL DAN PEMBAHASAN

### 3.1 Kondisi Existing Unit PJU dan PJU-TS Di Pulau Nusa Penida

Dari survey awal yang dilakukan, penerangan jalan sudah ada di semua tempat penting di Pulau Nusa Penida. Energi listrik untuk penerangan jalan umum tersebut disuplai dari PLN. Jumlah PJU dengan sumber daya dari PLN sebanyak 336 unit [5]. Namun untuk daerah-daerah pelosok yang belum terdapat Unit Penerangan Jalan Umum, di Pulau Nusa Penida sejak 3 tahun lalu telah dipasang 20 unit Penerangan Jalan Umum Tenaga Surya (PJU-TS).

Tabel 1. Jumlah Unit PJU dan PJU-TS di Nusa Penida

NO	WILAYAH	PJU PLN	PJU-TS
1	Sekartaji	15	-
2	Batu Kandik	14	-
3	Batu Madeg	33	-
4	Klumpu	14	-
5	Tanglad	15	-
6	Suana	15	-
7	Toya Pakeh	9	-
8	Ped	47	-
9	Sakti	16	-
10	Batununggul	54	-
11	Kutampi Kaler	35	20
12	Pejukutan	13	-
13	Kutampi Atas	19	-
14	Bunga Mekar	37	-
<b>Total</b>		<b>336</b>	<b>20</b>

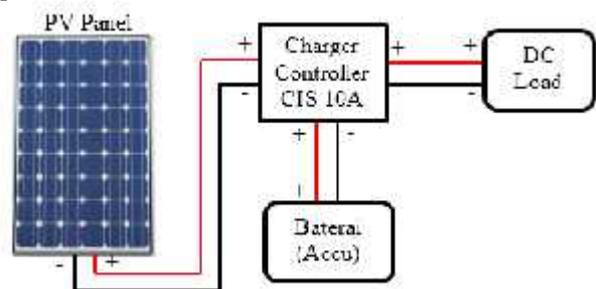
Saat ini hanya terdapat satu unit PJU-TS saja yang masih berfungsi normal. Pencahayaan dari unit PJU-TS sangat membantu para pengendara motor/mobil, para pedagang yang berangkat kepasar saat subuh, serta para pejalan kaki. Jam operasionalnya sudah mencukupi kebutuhan (menyala rata-rata dari jam 6 sore hingga jam 6 pagi), dan cahayanya juga sudah cukup terang.



Gambar 5. Unit PJU-TS yang menyala pada waktu malam hari.

### 3.2 Sistem PJU-TS

PJU-TS yang dikembangkan di Pulau Nusa Penida merupakan sistem PJU-TS yang berdiri sendiri (*Stand Alone*). Sistem PLTS pada PJU-TS tersebut digunakan untuk mensuplai energi listrik dalam rentang waktu pukul 18.00 sampai dengan pukul 06.00.



Gambar 6. Wiring diagram PJU-TS di Pulau Nusa Penida.

### 3.3 Kebutuhan Energi

Dari hasil rata-rata waktu nyala PJU-TS di Pulau Nusa Penida yaitu dalam rentang waktu pukul 18.00 sampai dengan pukul 06.00 (12 Jam). Beban (lampu) yang dipakai pada unit PJU-TS ini adalah lampu LED 30 watt (DC) yang setara dengan lampu 150 watt (AC) pada lampu merkuri biasa. Besarnya kebutuhan energi listrik 1 unit lampu PJU-TS di pulau Nusa Penida dalam rentang waktu pukul 18.00-06.00 adalah sebagai berikut :

Waktu operasi = 12 Jam setiap hari

Beban = 30 Watt DC

Kebutuhan daya per hari adalah 0,36 KWh, dan per tahun 131,4 KWh

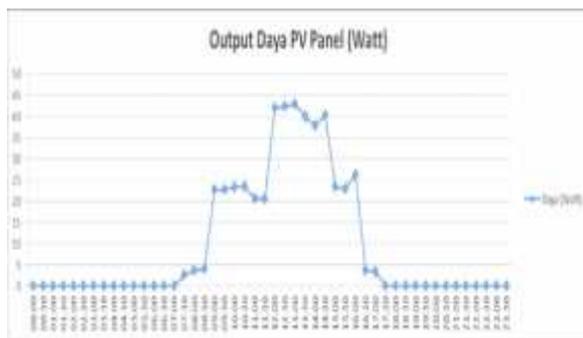
### 3.4 Tegangan dan Arus PV Panel

Untuk mengetahui besar pembangkitan PV pada unit PJU-TS di Pulau Nusa Penida, maka dilakukan pengukuran selama 5 hari, dari tanggal 8 sampai 12 Mei 2012, dengan mencatat hasil pembangkitan pada saat cuaca cerah dan cuaca mendung atau hujan. Selama 5 hari tersebut, waktu cuaca cerah hanya 3 hari yaitu pada tanggal 8, 9, dan 10 Mei 2012. Serta hari mendungnya yaitu tanggal 11 dan 12 Mei 2012,

hasil pengukuran rata-rata *output* tegangan dan arus PV Panel pada cuaca cerah teruraikan pada tabel 2 :

**Tabel 2. *Output* tegangan dan arus PV Panel Unit PJU-TS Saat Cuaca Cerah**  
(Sampel Pembangkitan rata-rata Saat cuaca cerah tanggal 8, 9, dan 10 Mei 2012)

No	Jam	Tegangan (Volt)	Arus (Ampere)	Daya (Watt DC)
1	07.30	18,00	0,15	2,6400
2	08.00	19,12	0,19	3,6328
3	08.30	19,25	0,21	4,0425
4	09.00	19,46	1,17	22,7682
5	09.30	19,45	1,17	22,7604
6	10.00	19,46	1,20	23,352
7	10.30	19,46	1,21	23,5466
8	11.00	19,27	1,07	20,6189
9	11.30	19,21	1,07	20,5547
10	12.00	19,80	2,12	41,976
11	12.30	19,80	2,14	42,372
12	13.00	19,89	2,16	42,9624
13	13.30	19,80	2,02	39,996
14	14.00	19,60	1,93	37,828
15	14.30	19,70	2,05	40,385
16	15.00	18,60	1,26	23,436
17	15.30	18,18	1,26	22,9068
18	16.00	19,16	1,37	26,2492
19	16.30	17,89	0,21	3,7569
20	17.00	16,80	0,20	3,360



**Gambar 7. Grafik Pembangkitan Daya Harian PJU-TS pada saat cuaca cerah**

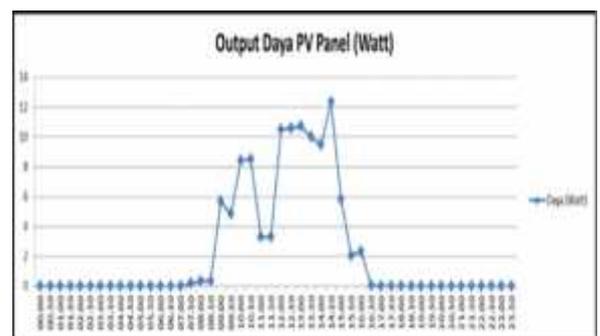
Dapat dilihat pada tabel 2 waktu pengukuran dilakukan setiap 30 menit dari pukul 7.30 pagi sampai dengan pukul 17.00.

Untuk mengetahui besar pembangkitan Pembangkit Listrik Tenaga surya pada saat cuaca mendung, dilakukan pengukuran selama 2 hari, yaitu pada tanggal 11 dan 12 Mei 2012 dengan mencatat langsung hasil pembangkitan pada saat cuaca mendung atau hujan. Maka mendapatkan hasil

pengukuran rata-rata pembangkitan pembangkit tenaga surya seperti yang teruraikan pada tabel 3 :

**Tabel 3. *Output* tegangan dan arus PV Panel Unit PJU-TS Saat Cuaca Mendung**  
(Sampel Pembangkitan rata-rata Saat cuaca mendung tanggal 11 dan 12 Mei 2012)

No	Jam	Tegangan (Volt)	Arus (Ampere)	Daya (Watt DC)
1	07.30	5,13	0,04	0,1846
2	08.00	5,74	0,06	0,32695
3	08.30	5,76	0,06	0,3628
4	09.00	9,73	0,59	5,6920
5	09.30	9,73	0,50	4,865
6	10.00	11,68	0,72	8,4096
7	10.30	11,68	0,73	8,5264
8	11.00	7,71	0,43	3,3153
9	11.30	7,68	0,43	3,3024
10	12.00	9,90	1,06	10,494
11	12.30	9,90	1,07	10,593
12	13.00	9,95	1,08	10,746
13	13.30	9,90	1,01	9,999
14	14.00	9,80	0,97	9,506
15	14.30	9,95	1,24	12,338
16	15.00	9,30	0,63	5,859
17	15.30	5,45	0,38	2,071
18	16.00	5,75	0,41	2,3575
19	16.30	1,79	0,03	0,0545
20	17.00	1,68	0,02	0,0336



**Gambar 8. Grafik Pembangkitan Daya Harian PJU-TS pada saat cuaca mendung**

Dapat dilihat pada tabel 3 waktu pengukuran dilakukan setiap 30 menit dari pukul 7.30 pagi sampai dengan pukul 17.00.

Untuk mengetahui kelayakan teknis Sistem PJU-TS di Pulau Nusa Penida juga dilakukan pengukuran *output* tegangan dan arus dari *Charger controller* ke baterai dan juga *output* tegangan dan arus dari *Charger controller* ke beban (*Load*) pada siang hari dan saat unit PJU-TS menyala. Pengukuran ini dilakukan pada unit PJU-TS yang masih berfungsi

(menyala). Untuk hasil pengukuran tegangan dan arus dari *Charger controller* ke baterai dapat terlihat pada tabel.4 :

**Tabel 4: Output tegangan dan arus dari *Charger controller* ke baterai (Waktu pengukuran pada tanggal 23 Juni 2012)**

No	Jam	Tegangan (Volt)	Arus (Ampere)
1	07.30	13,00	0,40
2	08.00	13,00	0,40
3	08.30	13,00	0,41
4	09.00	13,00	0,42
5	09.30	13,55	0,13
6	10.00	13,16	0,20
7	10.30	13,84	0,02
8	11.00	13,00	0,02
9	11.30	13,00	0,02
10	12.00	13,69	0,01
11	12.30	13,67	0,01
12	13.00	13,68	0,02
13	13.30	13,67	0,02
14	14.00	13,65	0,01
15	14.30	13,62	0,01
16	15.00	13,74	0,05
17	15.30	13,66	0,04
18	16.00	13,60	0,02
19	16.30	13,65	0,02
20	17.00	13,75	0,01

Untuk hasil pengukuran tegangan dan arus dari *Charger Controller* ke beban pada waktu pagi sampai sore hari dapat terlihat pada tabel 5.

Pada waktu pagi sampai sore hari, besarnya arus yang mengalir dari *Charger Controller* ke beban terbilang kecil. Hal ini disebabkan karena belum tersambung dengan beban. Untuk mengetahui suplai daya dari *Charger Controller* ke beban pada saat unit PJU-TS menyala, dilakukan pengukuran sebanyak 3 kali yaitu pukul 18.30, 19.00 dan pukul 05.30 pagi. Hasil pengukurannya pada tabel 6 :

**Tabel 5: Output tegangan dan arus dari *Charger Controller* ke Beban (Waktu pengukuran pada tanggal 23 Juni 2012)**

No	Jam	Tegangan (Volt)	Arus (Ampere)
1	07.30	11,77	0,01350
2	08.00	11,78	0,01330
3	08.30	11,92	0,01340

4	09.00	12,20	0,01340
5	09.30	12,12	0,01270
6	10.00	11,84	0,01280
7	10.30	11,79	0,01250
8	11.00	11,76	0,01250
9	11.30	11,69	0,01360
10	12.00	11,67	0,01260
11	12.30	11,68	0,01270
12	13.00	11,66	0,01250
13	13.30	11,65	0,01260
14	14.00	11,63	0,01250
15	14.30	11,74	0,01270
16	15.00	12,41	0,01300
17	15.30	12,35	0,01250
18	16.00	11,94	0,01300
19	16.30	11,79	0,01300
20	17.00	11,75	0,00360

**Tabel 6: Output tegangan dan arus dari *Charger Controller* ke Beban (Waktu pengukuran pada tanggal 11 Agustus 2012)**

Jam	Tegangan (Volt)	Arus (Ampere)
18.30	11,98	2,42
19.00	12,02	2,48
05.30	11,84	2,27

### 3.5 Kapasitas Komponen PJU-TS

Bila dilihat jam operasional sistem PJU-TS di pulau Nusa Penida yaitu beroperasi selama 12 jam per hari. Maka, kapasitas baterai untuk melayani beban lampu PJU-TS yaitu :

Baterai dengan kapasitas 100 Ah, 12 Volt DC.

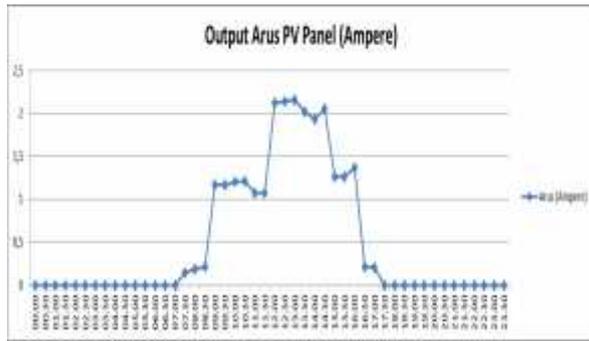
Mengacu pada tingkat kedalaman pengosongan (*Depth of Discharge/DOD*) baterai yaitu sebesar 80%, maka kapasitas baterai untuk melayani beban menjadi: 80 Ah

Kebutuhan Daya PJU-TS sebesar 30 watt DC 12V (beban lampu) yaitu :

$$= (30 \text{ Watt} \times \text{jam operasional}) / \text{tegangan beban}$$

$$= (30 \text{ Watt} \times 12 \text{ jam}) / 12\text{V} = 30 \text{ Ah}$$

Jadi dalam satu kali jam operasional, PJU-TS akan menghabiskan kapasitas sebesar 30Ah. Hal ini berarti, penurunan kapasitas baterai selama 12 jam pada hari pertama adalah sebesar 30 Ah. Kapasitas baterai turun menjadi 50Ah. Kemudian apabila di hari kedua pada siang harinya cerah maka besarnya kapasitas pengisian baterai dapat kita hitung dengan mengacu pada grafik output PV Panel pada saat cuaca cerah.



**Gambar 9. Output Tegangan & Arus PV Panel**

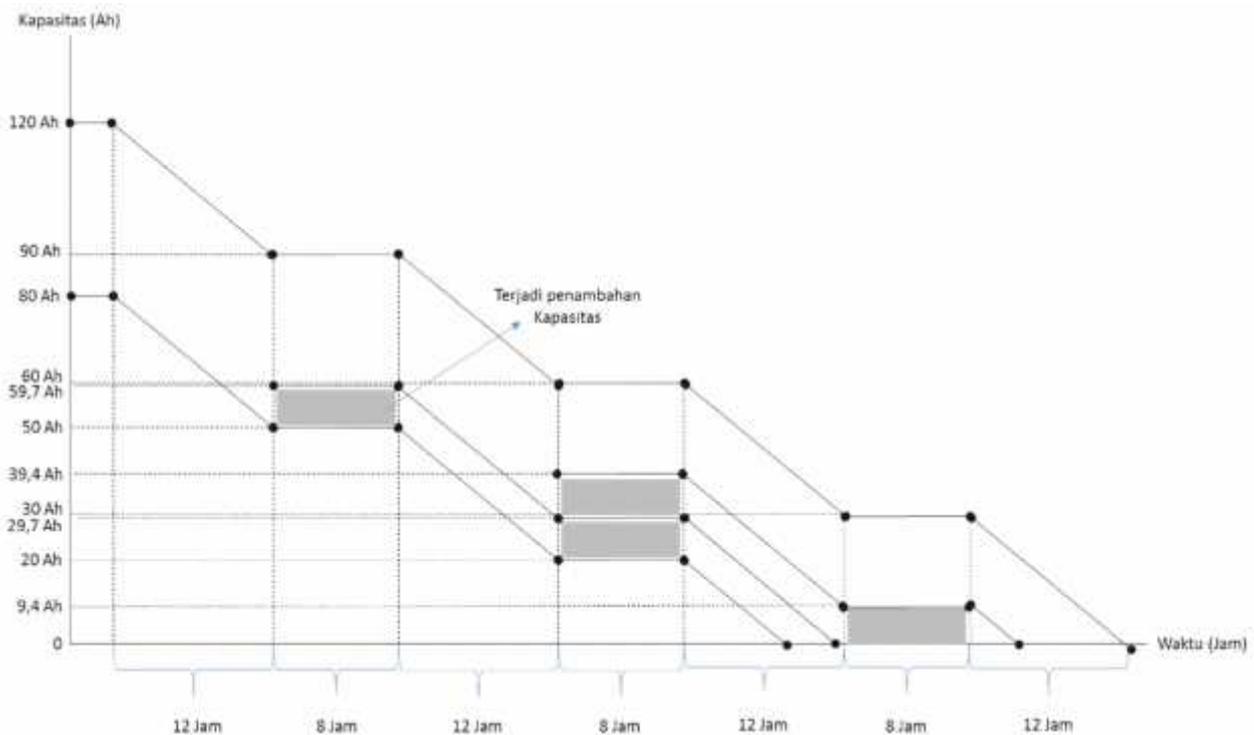
Berdasarkan grafik pada gambar 9 dapat dihitung besarnya kapasitas pengisian selama 8 jam (saat matahari bersinar) dengan cara mencari luas daerah di bawah kurva. Luas daerah di bawah kurva pada Gambar 10 merupakan hasil kali antara arus dan waktu. Perhitungan luas daerah di bawah kurva menggunakan pendekatan nilai rata-rata arus yang dibangkitkan dikalikan dengan selang waktu.

$$= \text{rata-rata dari nilai output arus pembangkitan saat cuaca cerah} = 1,21 \text{ A}$$

$$\begin{aligned} \text{Kapasitas pengisian} &= x \text{ waktu pengisian} \\ &= 1,21 \text{ A} \times 8 \text{ jam} \\ &= 9,7 \text{ Ah} \end{aligned}$$

Jadi penambahan kapasitas saat matahari bersinar adalah sebesar 9,7 Ah. Kapasitas baterai menjadi  $50 \text{ Ah} + 9,7 \text{ Ah} = 59,7 \text{ Ah}$ .

Pada 12 jam berikutnya baterai digunakan kembali sehingga terjadi pengurangan sebesar 30 Ah. Kapasitas baterai turun menjadi  $59,7 \text{ Ah} - 30 \text{ Ah} = 29,7 \text{ Ah}$ . Namun apabila pada kondisi sebelumnya kapasitas baterai sebesar 50 Ah tidak mendapat penambahan kapasitas, maka 50 Ah tersebut akan terpakai sebesar 30 Ah dan sisanya menjadi 20 Ah. Jika hari kedua mendung/hujan, maka tidak ada penambahan kapasitas. Ini berarti baterai sudah tidak mampu menyuplai kebutuhan beban sebesar 30 Ah selama 12 jam (artinya dalam waktu kurang dari 12 jam kapasitas baterai akan habis). Kemudian pada kedudukan kapasitas tersisa 29,7 Ah, apabila di hari kedua cerah akan terdapat penambahan kapasitas sebesar 9,7 Ah. Sehingga kapasitas baterai menjadi 39,4 Ah. Pada malam berikutnya akan terpakai sebesar 30 Ah dan sisanya menjadi 9,4 Ah. Pada kondisi baterai tersisa 9,4 Ah apabila mendapat penambahan pun kapasitas baterai hanya akan menjadi 19,1 Ah. Sistem PJU-TS tidak akan mampu menyuplai kebutuhan beban selama 12 jam. Demikian seterusnya akan berlangsung proses yang sama. Kondisi ini dapat disajikan melalui grafik pada Gambar 10:



**Gambar 10. Grafik Hubungan kapasitas baterai dengan jam operasional PJU-TS**

Dengan melihat kondisi tersebut kita dapat menganalisa kerusakan pada baterai salah satunya disebabkan karena besarnya pembangkitan (penambahan kapasitas baterai) tidak sebanding dengan kebutuhan daya sebesar 30 Ah pada setiap

jam operasional PJU-TS. Dengan kapasitas baterai yang terus kecil akan menyebabkan kerusakan pada baterai.

Mengacu pada Gambar 10, agar kapasitas baterai dapat menyuplai kebutuhan beban lebih lama

kita umpamakan memakai baterai dengan kapasitas 120 Ah, maka apabila terpakai pada jam operasional pertama kapasitas baterai akan berkurang sebesar 30 Ah dan sisanya menjadi sebesar 90 Ah. Kemudian jika pada siang harinya mendung maka tidak ada penambahan kapasitas. Untuk jam operasional berikutnya beban akan memakai kapasitas baterai sebesar 30 Ah lagi sehingga kapasitas baterai menjadi 60 Ah. Kemudian di siang hari berikutnya bila tidak ada pengisian lagi maka pada jam operasional ketiga kapasitas baterai akan berkurang menjadi 30 Ah yang akan cukup untuk menyuplai beban selama 1 kali jam operasional lagi. Dengan menggunakan baterai kapasitas sebesar 120 Ah akan mampu menyuplai beban selama 4 kali periode operasional PJU-TS. Namun hal tersebut tidak akan dapat menjamin bahwa baterai akan terisi penuh selama masa-masa operasional (tidak akan pernah *Fully Charge*).

Berdasarkan data pada tahun 2011, jumlah hari hujan di Pulau Nusa Penida dalam satu tahun yaitu sebanyak 156 hari dan 209 hari cerah (Balai Besar Meteorologi Klimatologi dan Geofisika Wilayah III Denpasar). Hal itu menunjukkan jumlah hari cerah masih lebih banyak dibandingkan dengan hari hujan (mendung) dalam satu tahun. Jika kita menginginkan agar sistem PJU-TS dapat bertahan dalam jangka waktu yang lama, dapat juga dilakukan dengan menambah kapasitas pembangkitan (menambah jumlah PV Panel sebesar 3 kali lipat kapasitas PV Panel yang dipakai sekarang). Karena dengan begitu besarnya pengisian akan sebanding dengan kebutuhan kapasitas beban selama satu hari. Jadi umur baterai akan bertahan lama dan tidak perlu mengganti baterai terlalu sering. Namun tentu saja hal ini juga akan berpengaruh pada biaya.

Melihat hasil pengukuran output tegangan dan arus pada tabel 4 dan 5 dapat diketahui bahwa :

- Tegangan pengisian baterai stabil. (Tabel 4). Hal ini dapat dilihat dengan cara membandingkan interval tegangan pengisian baterai pada *Datasheet* dengan hasil pengukuran PJU-TS di lapangan (berkisar antara 13 – 13,8 Volt).
- Suplai daya dari *Charger Controller* ke beban stabil. (Tabel 6). Hal ini diketahui dari hasil pengukuran pada saat Unit PJU-TS menyala / beroperasi pada pukul 18.30, 19.00 dan pukul 05.30 pagi (tegangan rata-rata sebesar 12 Volt dan arus rata-rata sebesar 2,48 Ampere).

### 3.6 Analisis Biaya PJU-TS

Biaya energi PJU-TS berbeda dengan biaya energi untuk pembangkit konvensional. Hal ini karena biaya energi PJU-TS / PLTS dipengaruhi oleh biaya investasi awal yang tinggi dengan biaya pemeliharaan dan operasional yang rendah.

#### 3.6.1 Biaya Investasi

Biaya investasi awal untuk PJU-TS yang dikembangkan di Pulau Nusa Penida mencakup

biaya-biaya seperti : biaya untuk komponen PJU-TS serta biaya instalasi PLTS. Biaya untuk komponen PJU-TS ini terdiri dari biaya untuk pembelian Panel Surya, *Charger Controller*, baterai, Tiang PJU, dll. Tabel 7 menunjukkan besarnya biaya investasi awal untuk PJU-TS yang dikembangkan di Nusa Penida.

**Tabel 7. Biaya Investasi 1 Unit PJU-TS LED-30-3360**

No	Komponen	Jml	Harga (Rp.)	Total Harga (Rp.)
1	Modul Solar Panel 100 Wp – 12 Volt	1	2.325.000	2.325.000
2	Solar Light Controller Digital 10Amp~12Volt	1	450.000	450.000
3	Light Unit (1 Set) 30 Watts (12/24Vdc)	1	2.200.000	2.200.000
4	Baterai Kering VRLA Deep Cycle 100Ah~12Volt	1	1.380.000	1.380.000
5	Box Baterai Powder Coating Multi Display	1	160.000	160.000
6	Kabel Instalasi PV NYHYH 2 x 2,5mm (Hitam)	7 m	7 x 8.500	59.500
7	Kabel Instalasi Lampu NYHYH 2 x 1,5mm (Hitam)	7 m	7 x 5.500	38.500
8	Tiang PJU-TS 3” 7m + Mur, Baut, Klem, Skun, dll.	1	2.295.000	2.295.000
	Biaya pengiriman		1.140.000	1.140.000
10	Biaya instalasi PJU-TS		150.000	150.000
<b>Total</b>				<b>10.198.000</b>

Besarnya biaya untuk 1 Unit PJU-TS yaitu Rp.10.198.000. Untuk 20 Unit PJU-TS yaitu sebesar = Rp.219.600.000

#### 3.6.2 Biaya Pemeliharaan dan Operasional

Biaya pemeliharaan dan operasional per tahun untuk PLTS umumnya diperhitungkan sebesar 1-2% dari total biaya investasi awal [6]. Berdasarkan acuan tersebut maka pada penelitian ini, besar persentase untuk biaya pemeliharaan dan operasional per tahun PJU-TS yang mencakup biaya untuk pekerjaan pembersihan panel surya, biaya pemeliharaan dan pemeriksaan peralatan dan instalasi akan ditetapkan sebesar 1% dari total biaya investasi awal. Penentuan persentase 1% didasarkan bahwa negara Indonesia hanya mengalami dua musim, yaitu musim penghujan dan musim kemarau sehingga biaya pembersihan dan pemeliharaan panel suryanya tidak sebesar pada negara yang mengalami empat musim dalam satu tahun. Selain itu penentuan persentase ini juga didasarkan pada tingkat upah tenaga kerja di

Indonesia yang lebih murah dibandingkan dengan tingkat upah tenaga kerja di negara maju. Adapun besar biaya pemeliharaan dan operasional (O & M) per tahun untuk 20 unit PJU-TS yang dikembangkan adalah sebagai berikut :

$$\begin{aligned} \text{O \& M Cost} &= 1\% \times \text{Total biaya investasi} \\ &= 0,01 \times \text{Rp.219.600.000,00} \\ &= \text{Rp.2.196.000,00/tahun.} \end{aligned}$$

### 3.6.3 Biaya Penggantian Baterai

Biaya penggantian baterai umumnya dilakukan dengan melihat usia rata-rata baterai (*accu*) yang dipakai. Pada penelitian ini usia baterai yang dipakai kita asumsikan 3 tahun. Jadi penggantian baterai dilakukan setiap 3 tahun sekali. Dalam masa proyek selama 25 tahun akan dilakukan penggantian baterai sebanyak 8 kali ( $25/3 = 8,333$ ). Nantinya biaya tersebut akan dirata-ratakan kemudian ditambahkan pada biaya pemeliharaan dan operasional unit PJU-TS setiap tahunnya. Mengenai rincian perhitungannya yaitu :

$$\begin{aligned} &\frac{(\text{Harga 1 unit baterai} \times 8 \times 20 \text{ unit PJU-TS})}{25} \\ &= \frac{1.380.000 \times 8 \times 20}{25} \\ &= \text{Rp. 8.832.000,00} \end{aligned}$$

Jadi O&M Cost per tahun menjadi  
Rp. 11.028.000,00.

### Perhitungan Tarif Listrik PJU-TS

Mengingat proyek pengadaan unit PJU-TS ini merupakan bantuan dari pemerintah, dan masyarakat Pulau Nusa Penida tidak dikenakan biaya retribusi, maka penulis akan melakukan 3 skenario perhitungan untuk mengetahui harga jual (biaya retribusi) yang layak untuk energi listrik yang dihasilkan unit PJU-TS di Pulau Nusa Penida. Pada ketiga skenario tersebut penulis akan menentukan Internal Rate of Return (IRR) yang ingin dicapai yaitu :

- Skenario 1, IRR yang ingin dicapai sebesar 10%
  - Skenario 2, IRR yang ingin dicapai sebesar 11%
  - Skenario 3, IRR yang ingin dicapai sebesar 12%
- a. PJU-TS yang dikembangkan pada penelitian ini, diasumsikan beroperasi selama 25 tahun. Penetapan umur proyek ini mengacu kepada jaminan (garansi) yang dikeluarkan oleh produsen panel surya.
  - b. Faktor Diskonto (DF) yang digunakan kita asumsikan sebesar 10%.
  - c. Koefisien Faktor (CF) yang digunakan kita asumsikan sebesar 75% dari 100% daya yang dibangkitkan/dihasilkan 20 unit PJU-TS selama satu tahun (sebesar 2.628 kWh), perhitungannya yaitu sebagai berikut :  
= 600 Watt x 50% x 75% x 8760 Hours  
= 1.971 kWh/tahun

Besaran 600 Watt tersebut diperoleh dari hasil kali beban sebesar 30 watt dikalikan dengan jumlah

seluruh unit PJU-TS, sedangkan 50% tersebut merupakan jam operasional unit PJU-TS yaitu selama 12 jam dari 24 jam, kemudian 75% tersebut merupakan asumsi besarnya kapasitas yang bisa kita jual yaitu 3/4 atau 75% dari kapasitas total daya unit PJU-TS, dan 8760 tersebut merupakan jumlah jam dalam satu tahun.

Jangka waktu pembangunan unit-unit PJU-TS di Pulau Nusa Penida diasumsikan selama 1 tahun, maka pada tahun ke-0 unit PJU-TS tersebut belum menghasilkan energi listrik.

Sebagai contoh pada skenario 1, dengan tingkat IRR yang diinginkan sebesar 10%, perhitungannya yaitu :

$$\begin{aligned} \text{Diketahui :} \\ \text{Capital Cost} &= \text{Rp. 219.600.000,00} \\ \text{CF} &= 600 \text{ Watt} \times 50\% \times 75\% \times 8760 \text{ Hours} \\ &= 1.971 \text{ kWh/tahun} \\ \text{O \& M Cost} &= (1\% \times \text{Total biaya investasi}) + \text{Biaya} \\ &\text{Penggantian Batere} \\ &= (0,01 \times \text{Rp.219.600.000,00}) + \text{Rp. 8.832.000,00} \\ &= \text{Rp.2.196.000,00} + \text{Rp. 8.832.000,00} \\ &= \text{Rp. 11.028.000,00/tahun} \end{aligned}$$

Jadi NPV pada tahun pertama (1) yaitu :

$$\begin{aligned} &= \frac{(\text{Production (kWh) 1 tahun} \times \text{harga jual per kWh}) - \text{total biaya 1 tahun}}{(1+i)^1} \\ &= \frac{1.971 \text{ kWh} \times \text{Rp.29.194,00} - \text{Rp.11.028.000,00}}{(1+0,1)^1} \\ &= \text{Rp. 42.284.885,00.} \end{aligned}$$

NPV pada tahun ke - 2 yaitu : Rp. 38.440.805,00.  
NPV pada tahun ke --3 yaitu : Rp. 34.946.186,00.  
NPV pada tahun ke - 4 yaitu : Rp. 31.769.260,00.

Demikian seterusnya sampai pada tahun ke-25  
Dari hasil perhitungan didapatkan :

- *Internal Rate Of Return* (IRR) = 10%
- NPV Kumulatif  
= (ΣPV Pendapatan - ΣPV Pengeluaran)  
= Rp.202.603.757,00
- *Benefit Cost Ratio* (B/C Ratio)

$$\begin{aligned} &= \frac{\sum \text{PV Pendapatan sampai tahun ke } - n}{\sum \text{Pengeluaran}} \\ &= 1,923 \end{aligned}$$

Demikian juga untuk skenario 2 dan 3 menggunakan cara yang sama. Yang berbeda hanya tingkat IRR yang diinginkan yaitu 11% dan 12%.

### 3.6.4 Perbandingan Hasil Perhitungan Skenario 1, 2 dan 3.

Hasil analisis kelayakan investasi dari segi biaya dari ke 3 skenario dengan tingkat IRR yang

diinginkan masing-masing sebesar 10%, 11%, dan 12% menunjukkan bahwa :

**Tabel 8. Rangkuman Hasil Perhitungan 3 Skenario**

	IRR (%)	COE (Rp/kWh)	NPV (Rp)	B/C Ratio
Skenario 1	10%	29.194	202.603.757	1,923
Skenario 2	11%	30.386	223.929.645	2,020
Skenario 3	12%	31.585	245.380.770	2,117

Dari tabel 8, dapat dijelaskan sebagai berikut :

- Skenario 1 menunjukkan NPV bernilai positif yaitu Rp. 202.603.757,00. Energi listrik harus dijual dengan harga Rp. 29.194,00/kWh. B/C Ratio > 1 yaitu sebesar 1,923. Pada skenario 1 IRR bernilai 10%, sama besar dengan tingkat diskonto yang dipakai (IRR = i).
- Skenario 2 menunjukkan NPV bernilai positif yaitu Rp. 223.929.645,00. Energi listrik harus dijual dengan harga Rp. 30.386,00/kWh. B/C Ratio > 1 yaitu sebesar 2,020. Pada skenario 2 IRR bernilai 11%, lebih besar daripada tingkat diskonto yang dipakai (IRR > i).
- Skenario 3 menunjukkan NPV bernilai positif yaitu Rp. 245.380.770,00. Energi listrik harus dijual dengan harga Rp. 31.585,00/kWh. B/C Ratio > 1 yaitu sebesar 2,117. Pada skenario 2 IRR bernilai 12%, lebih besar daripada tingkat diskonto yang dipakai (IRR > i).

Berdasarkan kajian pemanfaatan *Stand Alone Photovoltaic System* untuk Penerangan Jalan Umum (PJU) yang dilakukan dengan mempertimbangkan aspek teknik dan aspek biaya di Pulau Nusa Penida, maka :

- Kondisi Existing PJU-TS di Pulau Nusa Penida sudah banyak yang tidak berfungsi lagi (mati). Kerusakan rata-rata pada Baterai (*accu*), hal ini disebabkan karena besarnya pembangkitan (penambahan kapasitas baterai) tidak sebanding dengan kebutuhan daya sebesar 30 Ah pada setiap jam operasional PJU-TS, usia baterai yang sudah lama, kabel-kabel instalasi PJU-TS yang terlepas dibiarkan terbengkalai, serta pemeriksaan dan pemeliharaan terhadap unit PJU-TS hampir tidak pernah dilakukan. Jika kita menginginkan agar sistem PJU-TS dapat bertahan dalam jangka waktu yang lama, dapat dilakukan dengan mengganti baterai dengan kapasitas sebesar 120 Ah. Karena makin besar kapasitas baterai maka makin lama juga baterai mampu menyuplai daya ke beban. Selain itu juga dapat dilakukan dengan menambah kapasitas pembangkitan (menambah jumlah PV Panel sebesar 3 kali lipat kapasitas PV Panel yang dipakai sekarang). Karena dengan begitu besarnya pengisian akan sebanding dengan kebutuhan kapasitas beban selama satu hari. Jadi umur baterai akan bertahan lama dan kita tidak

perlu mengganti baterai terlalu sering. Namun tentu saja hal ini juga akan berpengaruh pada biaya yang akan bertambah banyak.

- Berdasarkan analisa hasil pengukuran output tegangan dan arus dari *PV Panel*, dari *Charger Controller* ke baterai, dan dari *Charger Controller* ke beban dapat disimpulkan bahwa : tegangan pengisian baterai stabil / telah memenuhi syarat tegangan pengisian minimum baterai (sesuai datasheet baterai) yaitu berkisar antara 13 – 13,8 Volt, suplai daya dari *Charger Controller* ke beban stabil (tegangan rata-rata sebesar 12 Volt dan arus rata-rata sebesar 2,5 ampere). Sistem PJU-TS sudah dapat melayani kebutuhan daya lampu sebesar 360 Wh per hari. Ini menunjukkan bahwa secara aspek teknis, sistem PJU-TS yang dikembangkan di Pulau Nusa Penida layak untuk dilaksanakan.

### 3. SIMPULAN

Dari analisis yang dilakukan maka dapat disimpulkan bahwa: Analisis kelayakan investasi PJU-TS yang menggunakan Metode *Cost & Benefit* (NPV, IRR dan B/C Ratio) menggunakan 3 skenario dengan tingkat IRR yang diinginkan masing-masing sebesar 10%, 11%, dan 12% menunjukkan bahwa : Pada skenario 1 menunjukkan proyek PJU-TS di Pulau Nusa Penida berada pada keadaan *break even point* atau titik impas. Pada skenario 2 menunjukkan proyek PJU-TS di Pulau Nusa Penida layak untuk dilaksanakan. Pada skenario 3 menunjukkan proyek PJU-TS di Pulau Nusa Penida layak untuk dilaksanakan..

### 4. DAFTAR PUSTAKA

- Volker Quaschnig, *Understanding Renewable Energy Systems*, London Sterling, VA, 2005.
- Campillo, Javier, and Stephen Foster, *Global Solar Photovoltaic Industry Analysis with Focus*, The Department of Public Technology, Malardalen University, 2010.
- Florida Solar Energy Center, *Types of PV systems*, 2011.
- Modul Benefit Cost Ratio*, Available : [www.scribd.com/doc/2903436/Modul-9-BenefitCost-Ratio-Analysis](http://www.scribd.com/doc/2903436/Modul-9-BenefitCost-Ratio-Analysis)
- Bagian Perlengkapan Setda Kab. Klungkung, *Jumlah Titik PJU di Pulau Nusa Penida*, 2009.
- Athanasia A. Lazou, Anastassios D. Papatsoris, *The economics of photovoltaic stand-alone residential households: A case study for various European and Mediterranean locations*, Department of Electronics, University of York, Heslington, UK, 2000.

Balai Besar Meteorologi Klimatologi dan Geofisika Wilayah III Denpasar