

PERANCANGAN DAN ANALISIS EKONOMI TEKNIK PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA SURYA SISTEM OFFGRID MENGGUNAKAN PERANGKAT LUNAK HOMER DI KAWASAN WISATA PANTAI PULAU CEMARA

Bimo Bagaskoro^{*)}, Jaka Windarta dan Denis

Departemen Teknik Elektro, Universitas Diponegoro Semarang
Jl. Prof Sudharto, SH, Kampus UNDIP Tembalang, Semarang 50275, Indonesia

^{*)}E-mail: bimo.bagaskoro.dwp@gmail.com

Abstrak

Pulau Cemara merupakan kawasan wisata yang belum teraliri energi listrik, hal ini dikarenakan letak Pulau Cemara yang jauh dari daratan sehingga PLN tidak dapat menjangkau tempat ini. Hal ini menjadi kendala bagi warga setempat, sehingga mengakibatkan tidak optimalnya aktivitas wisata pantai dan alam wilayah tersebut. Photovoltaic (PV) merupakan komponen berbentuk sel-sel yang dapat mengubah energi matahari menjadi energi listrik melalui efek photovoltaic. Dengan menggunakan PV, dapat dibangun sebuah pembangkit listrik tenaga surya yang akan menjadi solusi permasalahan di Pulau Cemara. Namun, dibutuhkan analisis secara teknis dan ekonomi dalam pembangunannya. Dari hasil perhitungan perancangan PLTS, didapat jumlah kapasitas panel surya sebesar 8x150Wp, solar charge controller sebesar 40A, baterai 4x100Ah, dan inverter 2000Watt. Dengan menggunakan Homer, dapat diketahui jumlah daya yang dihasilkan oleh panel surya sebesar 1746kWh/tahun. Dengan investasi awal sebesar \$3745, pada skenario menggunakan bunga sebesar 6 %, didapat nilai NPC sebesar \$6354 , nilai COE sebesar \$1,06/kWh, dan BEP terjadi pada tahun ke-11. Sedangkan biaya yang perlu ditanggung oleh 11 pengelola Pulau Cemara adalah \$3,76 per bulan. Pada skenario tanpa menggunakan bunga didapat nilai NPC sebesar \$8848, nilai COE sebesar 0,755\$/kWh dan BEP terjadi pada tahun ke-25. Sedangkan biaya yang perlu ditanggung oleh 11 pengelola adalah \$2,68 per bulan.

Kata kunci: PLTS Pulau Cemara, Offgrid, Homer, Analisis Teknik dan Ekonomi

Abstract

Cemara Island is a coastal tourism area that has not been electrified. This is becoming problem for local residents because the coastal tourism activities aren't optimal. Photovoltaic capability convert solar energy into electrical energy through photovoltaic effects. The solar power plant can be the solution to the problems. However, in order to build the solar power plant, technical and economic analysis is needed. From the result of solar system design calculation, it was obtained the number of solar panel capacity is 8x150Wp, solar charge controller of 40A, 4x100Ah battery, and 2000W of inverter. By using Homer, it can be seen that the amount of power produced by solar panels is 1746 kWh/year. The economic analysis of solar system with an initial investment of \$3745 is needed. In the scenario of using interest at 6%, the NPC is \$6354, the value of COE is \$1,06/kWh, and BEP occurring at 11th year. So it can be calculated the costs that must be pay by 11 managers is \$3,76 per month. Then in the scenario without interest, the NPC is \$8848, the value of COE is \$0.755/kWh and BEP occurring at 25th year. So the costs that must be pay by 11 managers is \$1.45 per month.

Keywords: Cemara Island, Solar Home System, Homer, Off grid

1. Pendahuluan

Energi memiliki peranan penting dalam proses pembangunan, untuk mencapai tujuan sosial, ekonomi, dan lingkungan. Peranan penting energi ini pada akhirnya akan menjadi pendukung bagi kegiatan ekonomi masyarakat sehingga akan menimbulkan kesejahteraan bagi masyarakat. Pengadaan energi ini juga sebagai langkah negara dalam mengalirkan listrik hingga ke pelosok negara sehingga pemerataan kondisi ekonomi dapat dengan

mudah tercapai. Namun, banyak faktor yang harus diperhatikan dalam pemanfaatan energi, sebagian besar negara di dunia telah menyadari pentingnya energi bagi keberlanjutan hidup manusia.

Pada tahun 2010, banyak negara telah menyadari pentingnya pemanfaatan sumber-sumber energi terbarukan sebagai pengganti energi tidak terbarukan seperti minyak bumi, batubara, dan gas yang telah menimbulkan dampak merusak terhadap bumi [1].

Salah satu pemanfaatan sumber energi terbarukan yang cukup potensial di Indonesia adalah energi sinar matahari. Indonesia merupakan negara yang secara geografis terletak tepat di garis khatulistiwa dan memberikan beragam keuntungan serta potensi besar dalam hal pemanfaatan energi matahari. Hal ini dikarenakan besarnya radiasi matahari bergantung pada letak garis lintang, kondisi atmosfer, dan posisi matahari terhadap garis khatulistiwa[2]. Indonesia mempunyai tingkat radiasi rata-rata yang relatif tinggi yaitu sebesar 4,80 kWh/m²/hari [3].

Pulau Cemara merupakan kawasan wisata pantai yang belum teraliri energi listrik dari PLN. Hal ini menjadi kendala bagi warga setempat untuk menggunakan layanan energi listrik, dengan dampak tidak adanya fasilitas berupa instalasi penerangan dan instalasi kelistrikan sehingga tidak optimalnya aktivitas wisata pantai dan alam wilayah tersebut.

Salah satu solusi dalam permasalahan tersebut adalah pengimplementasian Pembangkit Listrik Tenaga Surya dengan spesifikasi keluaran adalah searah. Energi listrik searah dapat diperoleh langsung dari sinar matahari menggunakan perangkat *photovoltaic* (PV) berbentuk sel. Sel-sel ini mengubah energi matahari menjadi energi listrik melalui efek *photovoltaic*. Sel PV merupakan dioda tipe p-n luas yang dirakit dalam suatu modul. Instalasi pada PV, tidak memiliki bagian yang bergerak dan bergetar sehingga tidak menghasilkan suara, serta instalasi PV tidak membutuhkan menara pendingin[4].

Terdapat beberapa faktor yang mempengaruhi efisiensi daya keluaran sel surya, yaitu radiasi matahari, temperatur sel surya, orientasi panel surya, sudut kemiringan panel surya, dan pengaruh bayangan[5]. Selain itu, dalam pembuatan pembangkit listrik tenaga surya dibutuhkan perancangan dan analisis ekonomi PLTS untuk dapat memaksimalkan kinerja PLTS serta diperlukannya perhitungan analisis keuangan dari pembuatan PLTS tersebut.

Analisis Ekonomi yang diperlukan adalah mengetahui nilai *net present cost*, *break even point*, dan *cost of energy*. Nilai tersebut dapat diperoleh dengan mengetahui investasi awal, nilai suku bunga tahunan dan juga biaya operasi dan pemeliharaan.[6]

Oleh karena itu, berdasarkan latar belakang yang sudah dijelaskan, maka dihasilkan tulisan penelitian dengan judul “Perancangan dan Analisis Ekonomi Teknik Pembangkit Listrik Tenaga Surya sistem *off-grid* menggunakan perangkat lunak Homer di Kawasan Wisata Pantai Pulau Cemara”

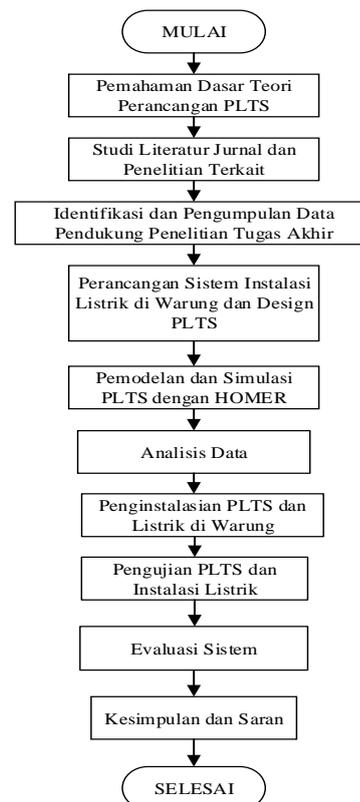


Gambar 1. Kawasan Wisata Pantai Pulau Cemara

2. Metode

2.1. Perancangan Simulasi

Dalam pengerjaan penelitian ini, digunakan dua buah skenario analisis ekonomi guna mengetahui pengaruh bunga terhadap nilai NPC, COE dan BEP. Selain itu perancangan sistem instalasi listrik di warung dan design PLTS juga diperhitungkan guna mengetahui unjuk kerja PLTS dalam memproduksi energi listrik tiap bulan dan tahun secara periodik. Adapun diagram alir/ *flowchart* Penelitian ini adalah sebagai berikut:



Gambar 2. Diagram Alir Pengerjaan Penelitian

2.2. Pengambilan Data Radiasi dan Temperatur

Pada tahap pengerjaan penelitian ini, dilakukan pengambilan data melalui website (National Aeronautics and Space Administration) guna mengetahui beragam parameter meteorologi dan klimatologi di wilayah perencanaan yakni di wilayah Kota Brebes tahun 2018. Adapun beberapa data yang diperlukan guna pengerjaan penelitian ini adalah sebagai berikut.

Tabel 1. Data Intensitas Radiasi Matahari

BULAN	Intensitas Radiasi Matahari (Kwh/m ² /hari)
Januari	4.42
Februari	4.73
Maret	5.37
April	5.15
Mei	4.94
Juni	4.96
Juli	5.49
Agustus	5.83
September	5.96
Oktober	6.11
November	5.26
Desember	4.88
Rata-Rata	5.26

Semakin besar nilai intensitas radiasi matahari, maka semakin besar pula tingkat efisiensi daya keluaran yang dapat dihasilkan oleh PLTS tersebut. Berdasarkan data tersebut, diketahui bahwa pada tahun 2018 data intensitas radiasi matahari tertinggi di Kota Brebes, Jawa Tengah adalah pada bulan Oktober dengan intensitas radiasi sebesar 6.11 Kwh/m²/hari.

Tabel 2. Data temperatur rata-rata

BULAN	Temperatur Rata-rata (°C)
Januari	26.35
Februari	26.19
Maret	26.52
April	27.02
Mei	26.88
Juni	26.12
Juli	24.83
Agustus	24.82
September	26.32
Oktober	27.49
November	27.11
Desember	26.78
Rata-Rata	26.37

Berdasarkan data pada tabel 2, diketahui bahwa pada tahun 2018 data temperatur wilayah tertinggi di Kota Brebes, Jawa Tengah adalah pada bulan Oktober dengan nilai 27.49 °C.

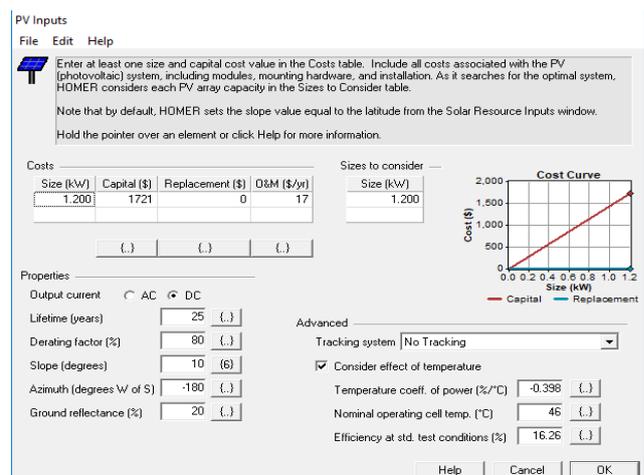
2.3. Komponen Utama Sistem PLTS Pulau Cemara

Semua harga investasi yang digunakan pada simulasi ini menggunakan mata uang US\$ atau dollar amerika dengan

nilai kurs terhadap rupiah sebesar Rp 14.034,22 yang diakses dari nilai tukar bank Indonesia pada tanggal 2 Februari 2019.

2.3.1. Panel Surya

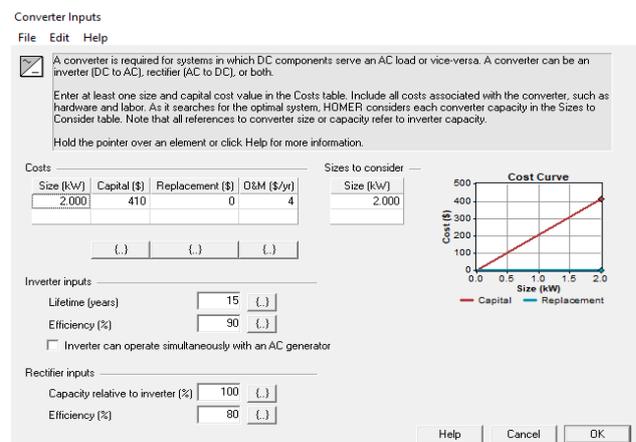
Jenis panel surya yang digunakan dalam perencanaan pembangkit listrik tenaga surya (PLTS) di Kawasan Wisata Pantai Pulau Cemara ini menggunakan panel surya dengan merk Sunworth Solar SW150P. Dengan tipe sel *Polycrystalline silicon*



Gambar 2. Parameter masukan panel surya

2.3.2. Inverter

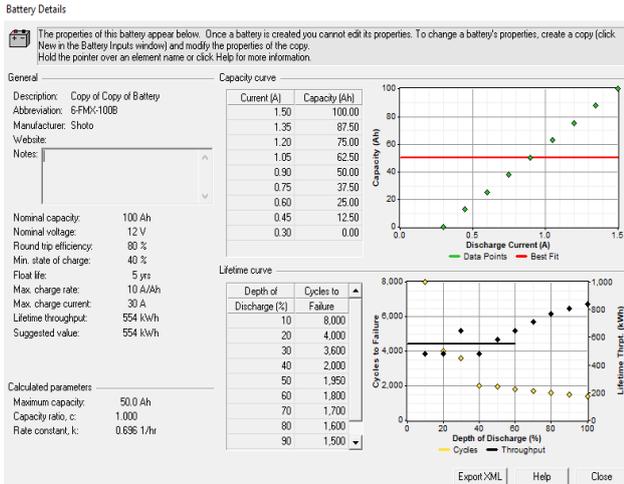
Inverter adalah salah satu komponen sistem PLTS yang penting untuk diperhatikan dengan baik spesifikasinya. Alat ini akan mengubah arus DC (*direct current*) yang dihasilkan dari panel surya menjadi arus AC (*alternating current*) untuk digunakan oleh peralatan rumah tangga pada umumnya[7]. *Inverter* yang akan digunakan dalam perancangan sistem PLTS ini adalah jenis *off grid* dengan merk Kenika model DC12-2000P



Gambar 3. Parameter masukan inverter

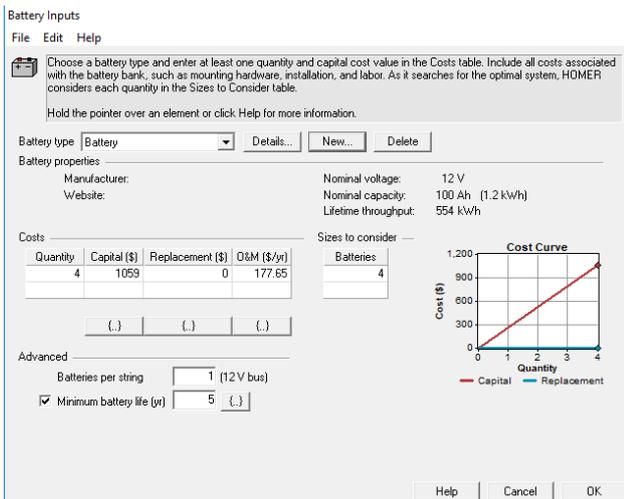
2.3.3. Baterai

Baterai merupakan komponen sistem PLTS yang cukup penting apabila PLTS terpasang secara *off-grid*. Baterai ini berfungsi sebagai alat penyimpanan energi yang dihasilkan oleh Panel Surya. Tanpa adanya baterai, maka PLTS hanya dapat digunakan pada siang hari atau pada kondisi matahari bersinar[7]. Baterai yang akan digunakan dalam perancangan sistem PLTS ini adalah jenis merk Energy Cell 106-RE.



Gambar 4. Parameter masukan baterai

Dan berikut hasil imputan biaya serta lama pemakaian baterai



Gambar 5. Parameter biaya pada baterai

2.3.4. Solar Charge Controller

Pada kondisi lapangan, panel surya selalu memiliki nilai tegangan dan arus yang berubah, hal ini disebabkan nilai radiasi matahari yang selalu berubah dan terkadang tidak optimal[8]. Sedangkan dalam pengisian baterai,

dibutuhkan nilai tegangan dan arus yang konstan. Untuk itu digunakan *Solar Charger Controller* yang berfungsi untuk mengatur arus searah yang diisi ke baterai sehingga tegangan dan arus menjadi konstan. Selain itu *Solar Charger Controller* juga mengatur kelebihan pengisian pada baterai dan juga kelebihan tegangan dari panel surya, hal ini bertujuan sebagai tindakan perawatan baterai dikarenakan kelebihan tegangan dan pengisian dapat mengurangi umur baterai.

3. Hasil dan Analisa

Proses optimasi dilakukan setelah proses simulasi selesai dilakukan. Proses simulasi awal ini bertujuan untuk menentukan variabel ukuran optimum pada masing-masing komponen utama yang terpasang saat beroperasi sendiri.

3.1. Skenario 1

Skenario 1 merupakan skenario analisis pada Homer dengan menggunakan parameter suku bunga per tahun sebesar 6%, sehingga akan menghasilkan nilai NPC, COE dan BEP yang berbeda. Berikut inputan parameter suku bunga dan hasil simulasi Homer

PV (kW)	Energy C. (kW)	Conv. (kW)	Initial Capital	Operating Cost (\$/yr)	Total NPC	COE (\$/kWh)	Ren. Frac.	Capacity Shortage	Batt. Lf. (yr)
1.2	4	2	\$ 3,745	204	\$ 6,354	1.061	1.00	0.35	5.0

Gambar 6. Hasil simulasi Homer

3.1.1. Net Present Cost

Net Present Cost atau biaya *net* total masa kini adalah keluaran ekonomi yang utama dalam sistem PLTS di Homer. Homer akan menghitung data hasil keluaran simulasi dan optimasi NPC. Dengan total biaya yang harus dikeluarkan oleh pengguna dalam menerapkan sistem PLTS yang menggunakan parameter suku bunga sebesar 6%. Selama masa proyek 25 tahun, total biaya yang harus dikeluarkan adalah sebesar \$6354 atau setara dengan Rp 89.173.433,-

3.1.2. Cost of Energy

Cost of energy dapat diartikan sebagai biaya rata-rata per kWh dari produksi energi listrik yang terpakai oleh sistem. Pada simulasi Homer, COE dihitung dengan cara membagi biaya produksi energi listrik tahunan dengan total energi listrik terpakai yang diproduksi. Dalam Homer, satuan COE yang digunakan adalah \$/kWh sehingga dengan mengetahui COE, dapat diketahui tarif listrik dan pendapatan yang dihasilkan dari penjualan energi.

Pada gambar 6 dapat dilihat, nilai COE yang didapat oleh Homer adalah \$1,06 per kWh atau setara dengan Rp 14.890,- per kWh pada kurs dollar terhadap rupiah sebesar Rp 14.034,22.

Dengan mengetahui nilai COE, maka dapat diketahui pendapatan yang diperoleh dalam waktu setahun dengan cara melakukan perkalian COE dengan total energi listrik yang dipakai dalam waktu setahun. Maka dari perkalian tersebut diperoleh pendapatan per tahun sebagai berikut :

$$\begin{aligned} \text{Pendapatan per tahun} &= \text{COE} \times \text{AC Primary Load} \\ &= \$1,06/\text{kWh} \times 469 \\ &= \$497,14 \end{aligned}$$

Namun pendapatan tersebut masih merupakan pendapatan kotor, atau pendapatan yang belum dikurangi dengan biaya operasional dan pemeliharaan.

3.1.3. Break Even Point

Break even point merupakan keadaan dimana nilai investasi dan pendapatan berada di titik 0, atau dapat dikatakan berada pada kondisi tidak mengalami kerugian dan tidak mengalami keuntungan. Nilai BEP diperlukan untuk dapat memperkirakan pada tahun ke berapa investor mulai mengalami keuntungan. Dikarenakan *software* Homer tidak menghitung nilai BEP, maka digunakan perhitungan secara manual.

Dengan mengetahui rata-rata biaya operasional dan pemeliharaan, maka dapat dihitung nilai BEP (unit) dengan parameter sebagai berikut :

$$\begin{aligned} \text{Fixed Cost} &= \$3745 \\ \text{COE} &= \$1,06 \\ \text{Variable Cost} &= \$104,36/469 = \$0,222 \end{aligned}$$

Maka didapat nilai BEP sebesar :

$$\text{BEP (Unit)} = \frac{3745}{1,06 - 0,222} = 4468,9 \text{ kWh}$$

Dari perhitungan tersebut dapat diketahui untuk mendapatkan titik balik modal atau BEP, maka diperlukan penjualan daya sebesar 4468,9 kWh. Sedangkan untuk mengetahui pendapatan yang perlu diterima agar terjadi BEP digunakan persamaan sebagai berikut :

$$\begin{aligned} \text{Pendapatan BEP} &= 4468,9 \times 1,06 \\ &= \$4737,11 \end{aligned}$$

Sehingga pendapatan yang perlu diterima agar terjadi BEP adalah \$4737,11, Dengan pendapatan per tahun sebesar \$497,14 dan nilai BEP tercapai di tahun ke 11.

3.2. Skenario 2

Skenario 2 merupakan skenario analisis pada Homer dengan tidak menggunakan parameter suku bunga. Sehingga akan menghasilkan nilai NPC, COE dan BEP yang berbeda. Berikut inputan parameter suku bunga dan hasil simulasi Homer

	PV (kW)	Energy C. (kW)	Conv. (kW)	Initial Capital	Operating Cost (\$/yr)	Total NPC	COE (\$/kWh)	Ren. Frac.	Capacity Shortage	Batt. Lf. (yr)
	1.2	4	2	\$ 3,745	204	\$ 8,848	0,755	1.00	0.35	5.0

Gambar 7. Hasil simulasi Homer

3.2.1. Net Present Cost

Biaya *net* total masa kini adalah keluaran ekonomi yang utama dalam sistem PLTS di Homer. Homer akan menghitung data hasil keluaran simulasi dan optimasi NPC. Dengan total biaya yang dikeluarkan oleh pengguna dalam menerapkan sistem PLTS yang menggunakan parameter suku bunga sebesar 0%. Selama masa proyek 25 tahun, total biaya yang harus dikeluarkan adalah sebesar \$8848 atau setara dengan Rp 124.174.779,-

3.2.2. Cost of Energy

Cost of energy dapat diartikan sebagai biaya rata-rata per kWh dari produksi energi listrik yang terpakai oleh sistem. Pada simulasi Homer, COE dihitung dengan cara membagi biaya produksi energi listrik tahunan dengan total energi listrik terpakai yang diproduksi. Dalam Homer, satuan COE yang digunakan adalah \$/kWh sehingga dengan mengetahui COE, dapat diketahui tarif listrik dan pendapatan yang dihasilkan dari penjualan energi.

Pada gambar 7 dapat dilihat, nilai COE yang didapat oleh Homer adalah \$0,755 per kWh atau setara dengan Rp 10.595,-per kWh pada kurs dollar terhadap rupiah sebesar Rp 14.034,22.

Dengan mengetahui nilai COE, maka dapat diketahui pendapatan yang diperoleh dalam waktu setahun dengan cara melakukan perkalian COE dengan total energi listrik yang dipakai dalam waktu setahun. Maka dari perkalian tersebut diperoleh pendapatan per tahun sebagai berikut :

$$\begin{aligned} \text{Pendapatan per tahun} &= \text{COE} \times \text{AC Primary Load} \\ &= \$0.755/\text{kWh} \times 469 \\ &= \$354,1 \end{aligned}$$

Namun pendapatan tersebut masih merupakan pendapatan kotor, atau pendapatan yang belum dikurangi dengan biaya operasional dan pemeliharaan.

3.2.3. Break Even Point

Break even point merupakan keadaan dimana nilai investasi dan pendapatan berada di titik 0, atau dapat dikatakan berada pada kondisi tidak mengalami kerugian dan tidak mengalami keuntungan. Nilai BEP diperlukan untuk dapat memperkirakan pada tahun ke berapa investor mulai mengalami keuntungan. Dikarenakan *software* Homer tidak menghitung nilai BEP, maka digunakan perhitungan secara manual.

Dengan mengetahui rata-rata biaya operasional dan pemeliharaan, maka dapat dihitung nilai BEP dengan parameter sebagai berikut :

$$\begin{aligned} \text{Fixed Cost} &= \$3745 \\ \text{COE} &= \$0.755 \\ \text{Variable Cost} &= \$204/469 = \$0.434 \end{aligned}$$

Maka didapat nilai BEP sebesar :

$$\text{BEP (Unit)} = \frac{3745}{0.755 - 0.434} = 11.666,7 \text{ kWh}$$

Dari perhitungan tersebut dapat diketahui untuk mendapatkan titik balik modal atau BEP, maka diperlukan penjualan daya sebesar 11.666,7 kWh. Sedangkan untuk mengetahui pendapatan yang perlu diterima agar terjadi BEP digunakan persamaan sebagai berikut :

$$\begin{aligned} \text{Pendapatan BEP} &= 11.666,7 \times 0,755 \\ &= \$8808,3 \end{aligned}$$

Sehingga pendapatan yang perlu diterima agar terjadi BEP adalah \$8808,3, Dengan pendapatan per tahun sebesar \$354,1 maka titik balik modal akan terjadi saat tahun ke 25.

4. Kesimpulan

Sistem PLTS *Offgrid* ini menggunakan 8 panel surya dengan sudut kemiringan 10° dan didapat energi listrik sebesar 1.746 kWh/tahun. Dimana konsumsi energi listrik Pulau Cemara sebesar 469 kWh/tahun. Pemetaan beban pada Pulau Cemara terdiri dari 2 kondisi, yaitu kondisi *weekdays* dan kondisi *weekend*. Dimana jumlah beban per hari pada kondisi *weekdays* sebesar 0,82 kW dan kondisi *weekends* sebesar 4,534 kW dengan beban puncak 0.5 kW. Kemudian *software* Homer mensimulasikan beban rata-rata per hari sebesar 1,9 kWh/hari. Pada analisis ekonomi PLTS skenario 1 dengan suku bunga 6%, didapat hasil simulasi dengan nilai NPC sebesar \$6354 atau Rp 89.173.433,- dan COE \$1,06/kWh atau Rp 14.890,- /kWh. Dengan mengetahui nilai COE, maka dapat diketahui pendapatan yang diperoleh per tahunnya yaitu sebesar \$497,14/tahun atau Rp 6.976.972,-. (Kurs Dollar = Rp 14.034,22). Titik balik modal dari hasil analisis ekonomi PLTS skenario 1 terjadi pada tahun ke-11 dengan jumlah penjualan kWh sebesar 4.468,9 kWh dengan hasil penjualan listrik sebesar \$4.737,11. Pada analisis ekonomi PLTS skenario 2 tanpa suku bunga, didapat hasil simulasi dengan nilai NPC sebesar \$8,848 atau setara dengan Rp 124.174.779,- dan COE \$0,755 per kWh atau setara dengan Rp 10.595,8,-/kWh. Dengan mengetahui nilai COE, maka dapat diketahui pendapatan yang diperoleh per tahunnya yaitu sebesar \$354,1 /tahun atau Rp 4.969.517,-/tahun. (Kurs Dollar = Rp 14.034,22). Titik balik modal dari hasil analisis ekonomi PLTS skenario 2 terjadi pada tahun ke-25

dengan jumlah penjualan kWh sebesar 11.666,7 kWh dengan hasil penjualan listrik \$8.808,3.

Referensi

- [1]. Contained Energy Indonesia tim, *Buku Panduan Energi yang Terbarukan*, PNPM Mandiri Kemendagri Indonesia, 2015.
- [2]. Bien, L. E., *Perancangan Sistem Hibrid Pembangkit Listrik Tenaga Surya dengan Jala-jala Listrik PLN untuk Rumah Perkotaan*, Universitas Trisakti, 2008.
- [3]. Bachtiar, Muhammad, "Prosedur Perancangan Sistem Pembangkit Listrik Tenaga Surya untuk Perumahan (*Solar Home System*)", SMARTek, vol.4, no.3, pp. 176-182, 2006.
- [4]. Berenguel, Camacho, Rubio, Martinez. "Control of Solar Energy Systems", Springer, 2012.
- [5]. King, Boyson, & Kratochvil, *Analysis of Factors Influencing The Annual Energy Production of Photovoltaic Systems*, IEEE, 2002.
- [6]. S. Edition and T. Au, *Engineering Economics for Capital Investment Analysis*, 2005.
- [7]. ABB, *Technical Application Papers NO.10 Photovoltaic Plants*, Bergamo Italy, 2008
- [8]. Duffie, John A. and William A. Beckman, *Solar Engineering of Thermal Processes*, 3th, Jon Wiley & Sons Inc, New Jersey, 2006.