

ANALISIS PERANCANGAN PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA SURYA DI SMA NEGERI 4 SEMARANG Dengan Aplikasi HOMER

Michael Anandya Muliawan ^{*)}, Bambang Winardi dan Budi Setiyono

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

^{*)}E-mail: michaelmuliawan@gmail.com

Abstrak

Indonesia merupakan negara yang dilalui oleh garis khatulistiwa sehingga memiliki potensi besar dalam pemanfaatan energi matahari. Hal ini dikarenakan besarnya radiasi matahari. Menurut Power Data Access Viewer NASA pada tahun 2019 Indonesia mempunyai tingkat radiasi yang relatif tinggi sebesar 4,8 kWh/m²/hari. Hal ini merupakan keuntungan besar bagi Indonesia dalam hal pemanfaatan energi matahari menjadi energi listrik melalui Fotovoltaik, terutama di wilayah kota Semarang yang mempunyai tingkat radiasi rata-rata sebesar 5,6 kWh/m²/hari. SMA Negeri 4 Semarang memiliki lahan kosong yang terbuka dan belum teroptimalkan dengan baik. Dengan intensitas radiasi matahari yang tinggi tiap harinya, SMA Negeri 4 Semarang yang terletak di Jl. Karang Rejo, Semarang, Jawa Tengah ini dapat memanfaatkan lahan kosong menjadi siteplan PLTS yang cukup besar. PLTS Off Grid merupakan sistem PLTS yang hanya mengandalkan energi matahari sebagai satu-satunya sumber energi utama dengan menggunakan rangkaian photovoltaic module untuk menghasilkan energi listrik sesuai kebutuhan dan menggunakan baterai sebagai pemasok daya tambahan.

Kata kunci : Fotovoltaik, PLTS, Off Grid, HOMER

Abstract

Indonesia is a country that is geographically crossed by the equator so that it has great potential in terms of solar energy utilization. This is because the amount of solar radiation.. According to NASA's Power Data Accesser in 2019 Indonesia has a high average radiation level of 4.8 kWh / m² / day. This is a big advantage for Indonesia in terms of utilizing solar energy into electricity through photovoltaic, especially in the city of Semarang which has an average radiation level of 5.6 kWh / m² / day. SMA Negeri 4 Semarang has vacant land that are open and have not been optimized properly. With the high intensity of solar radiation every day, SMA Negeri 4 Semarang located on Jl. Karang Rejo, Semarang, Central Java can make use of vacant land to become a fairly large PLTS siteplan. Off Grid PLTS is a PLTS system that only relies on solar energy as the only main energy source by using a series of photovoltaic modules to produce electrical energy as needed and uses batteries as an additional power.

Keywords : Photovoltaic, PLTS, Off Grid, HOMER,

1. Pendahuluan

Kebutuhan energi yang terus meningkat dapat dijadikan sebagai indikator kemakmuran suatu negara, namun bersamaan dengan hal itu akan menimbulkan masalah dalam usaha penyediaannya. Sebagian besar manusia masih mengandalkan energi fosil untuk memenuhi kebutuhan energi, sehingga semakin lama energi fosil yang ada akan semakin menipis. Kondisi cadangan energi fosil yang terus berkurang ini diantisipasi oleh Pemerintah Indonesia dengan lebih meningkatkan penggunaan Energi Baru dan Terbarukan. Saat ini Pemerintah Republik Indonesia melalui RUPTL (Rencana Usaha Penyediaan Tenaga Listrik) menargetkan bauran Energi Baru dan Terbarukan (EBT) mencapai 23% pada tahun 2025.

Sementara itu per Oktober 2019 penggunaan EBT baru mencapai 12,1%. Pengembangan tenaga surya untuk tenaga listrik diproyeksikan sebesar 6,5 GW pada tahun 2025 dan 45 GW pada tahun 2050 atau 22% dari potensi surya sebesar 207,9 GW [1]. Indonesia merupakan negara yang secara geografis dilalui oleh garis khatulistiwa sehingga memiliki potensi besar dalam hal pemanfaatan energi matahari. Hal ini dikarenakan besarnya radiasi matahari dipengaruhi oleh letak garis lintang, kondisi atmosfer, dan posisi matahari terhadap garis khatulistiwa [2]. Indonesia yang terletak di 6o LU – 11o LS dan 95o - 141o BT memiliki tingkat radiasi rata-rata yang relatif tinggi yaitu sebesar 4,8 kWh/m²/hari [3]. Berdasarkan fakta tersebut, tentunya Indonesia memiliki modal besar untuk mengembangkan teknologi Photovoltaic untuk membangkitkan tenaga listrik dari energi matahari.

Beberapa faktor yang mempengaruhi efisiensi daya keluaran sel surya adalah radiasi matahari, temperatur sel surya, orientasi panel surya, sudut kemiringan panel surya, dan pengaruh bayangan. [4].

Untuk memaksimalkan daya keluaran yang dihasilkan, maka sel surya harus memperoleh radiasi matahari maksimal dan dibutuhkan temperatur relatif rendah agar daya keluaran yang dihasilkan meningkat. SMA Negeri 4 Semarang merupakan salah satu SMA dengan siswa dan pegawai yang banyak. SMA Negeri 4 Semarang juga memberikan beberapa fasilitas sebagai penunjang kinerja siswa, guru serta staff. Fasilitas yang ada meliputi laboratorium, kantin, peribadatan, ruang kelas, perpustakaan, ruang kesenian, ruang komite sekolah, ruang OSIS, kamar mandi, ruang UKS, dll. Fasilitas tersebut memiliki benda-benda yang membutuhkan energi listrik seperti komputer, kipas angin, lampu, dan lain sebagainya. Lalu jika listrik padam, maka segala kegiatan akan terhambat dikarenakan segala urusan kegiatan belajar mengajar akan mengalami gangguan. Salah satu cara agar kegiatan belajar mengajar tetap berlangsung normal yaitu dengan memasang PLTS sebagai tenaga listrik utama dan baterai sebagai tenaga cadangannya.[5].



Gambar 1. Sarana parkir sepeda motor di SMAN 4 Semarang.

Secara astronomis SMAN 4 Semarang terletak pada 7.047 °LS dan 110.40 °BT. SMAN 4 Semarang mempunyai lahan kosong dan tidak terpakai. Hal ini akan sangat baik apabila lahan kosong tersebut dimanfaatkan untuk menghasilkan energi listrik yang bersumber dari cahaya matahari. Oleh karena itu, pada penelitian ini dibuat perencanaan PLTS dengan memanfaatkan lahan kosong pada SMAN 4 Semarang sebagai lahan PLTS tersebut. Sarana parkir sepeda motor SMA Negeri 4 Semarang berbentuk lahan parkir terbuka dengan luas lahan sebesar 600 m². Area potensial lainnya adalah lahan yang memiliki luas 500 m².

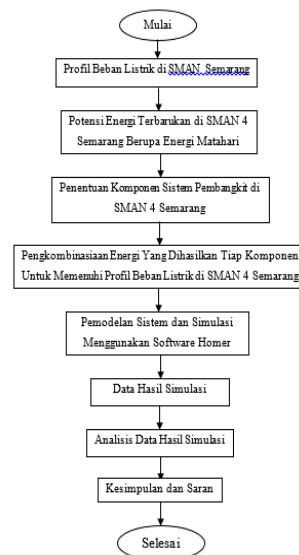


Gambar 2. Lahan kosong gedung SMAN 4 Semarang.

Adapun penelitian tugas akhir ini bertujuan guna merancang dan menganalisis potensi dan unjuk kerja PLTS dengan memanfaatkan serta mengoptimalkan penggunaan lahan sarana parkir sepeda motor dan lahan kosong di SMA Negeri 4 dengan Sistem PLTS *OffGrid* yang mengandalkan energi matahari sebagai satu-satunya sumber energi utama dengan menggunakan rangkaian *photovoltaic module* untuk menghasilkan energi listrik sesuai kebutuhan dan mengisi baterai sebagai pemasok daya cadangan atau untuk pemasok daya di malam hari dengan menggunakan perangkat lunak HOMER[6].

2. Metode

2.1. Perancangan Simulasi PLTS di SMAN 4 Semarang



Gambar 3. Diagram alir pengerjaan Tugas Akhir

Diagram alir dari Tugas Akhir berjudul “Analisis Perencanaan Pembangkit Listrik Tenaga Surya di SMAN 4 Semarang” dapat dilihat pada gambar 3 berikut:

2.2. Pengambilan Data

Data perancangan simulasi sistem PLTS ini terdiri dari beberapa hal penting, yaitu data peralatan elektronik yang terpasang sebagai profil beban listrik di SMAN 4 Semarang, dan potensi energi terbarukan di SMAN 4 Semarang.

2.2.1. Profil Beban

Tabel 1. Data Beban

Jam	Beban (kWh)
00.00-01.00	3.211,4
01.00-02.00	3.166,4
02.00-03.00	3.166,4
03.00-04.00	3.166,4
04.00-05.00	3.186,4
05.00-06.00	3.186,4
06.00-07.00	2.217,4
07.00-08.00	8.805,4
08.00-09.00	14.214,75
09.00-10.00	18.478,47
10.00-11.00	33.903,7
11.00-12.00	25.447
12.00-13.00	22.561,4
13.00-14.00	22.920,4
14.00-15.00	18.270
15.00-16.00	5.033,4
16.00-17.00	2.443,4
17.00-18.00	2.332,4
18.00-19.00	3.245,4
19.00-20.00	3.186,4
20.00-21.00	3.186,4
21.00-22.00	3.581,4
22.00-23.00	3.231,4
23.00-00.00	3.231,4
Total	215.373,5

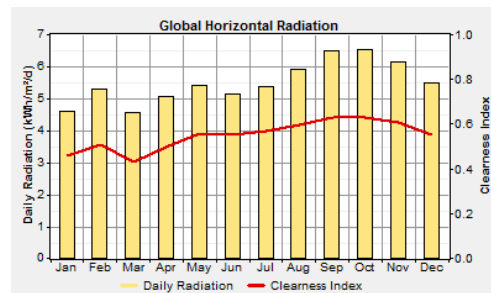
Tabel 2. Data Beban Weekend

Jam	Beban (kWh)
00.00-01.00	2.810,9
01.00-02.00	2.765,9
02.00-03.00	2.765,9
03.00-04.00	2.765,9
04.00-05.00	2.785,9
05.00-06.00	2.785,9
06.00-07.00	1.786,9
07.00-08.00	3.382,9
08.00-09.00	2.136,9
09.00-10.00	3.801,9
10.00-11.00	2.018,075
11.00-12.00	1.834,9
12.00-13.00	1.786,9
13.00-14.00	1.786,9
14.00-15.00	1.786,9
15.00-16.00	1.786,9
16.00-17.00	1.849,4
17.00-18.00	1.846,9
18.00-19.00	2.770,9
19.00-20.00	2.785,9
20.00-21.00	2.785,9
21.00-22.00	3.180,9
22.00-23.00	2.830,9
23.00-00.00	2.830,9
Total	59.671,275

Tugas akhir ini menggunakan data beban dari Gedung SMAN 4 Semarang. Dalam hal ini profil beban dihitung berdasarkan penggunaan per-jam dan dibedakan menjadi dua periode, yaitu ketika *weekday* dan *weekend*.

2.2.2. Potensi Energi Matahari

SMAN 4 Semarang memiliki potensi energi terbarukan dari sumber energi matahari. Radiasi sinar matahari dapat digunakan untuk merancang kapasitas terbesar yang dapat ditangkap oleh panel surya. Informasi mengenai tingkat radiasi sinar matahari sangat penting untuk dapat memperkirakan energi yang dapat dihasilkan oleh sistem per harinya. Data dari *National Aeronautic and Space Administration* (NASA) yang diakses dari laman resminya digunakan sebagai sumber informasi radiasi matahari di SMAN 4 Semarang. Data yang diambil berasal dari update data tahun 2019. Pada perancangan simulasi ini data yang diperlukan adalah radiasi sinar matahari dan clearness index[7][8].



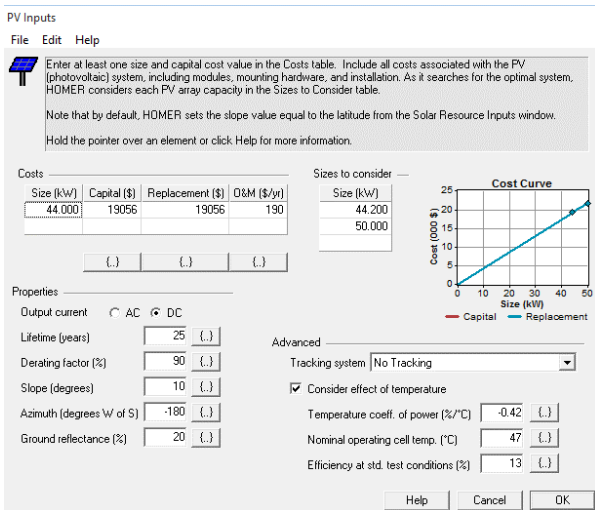
Gambar 4 Potensi energi Matahari di SMAN 4 Semarang

2.2.3. Komponen Utama Sistem Pembangkit Listrik Tenaga Hibrida

Pembangkit Listrik Tenaga Surya off grid akan disimulasi dan dianalisis menggunakan HOMER terdiri dari panel surya (photovoltaic), Inverter, dan baterai.

A. Panel Surya (PV)

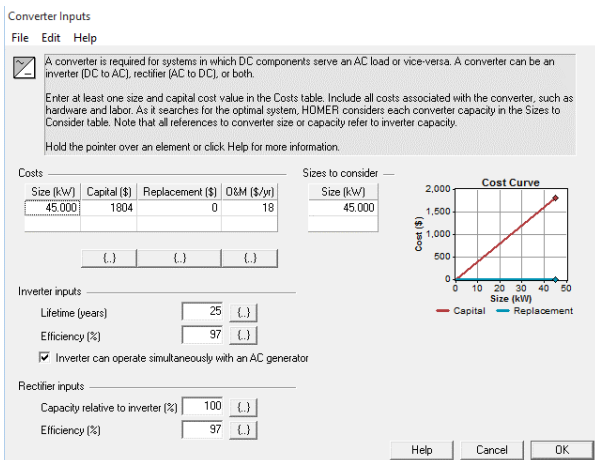
HOMER memodelkan PV array sebagai komponen pembangkit energi listrik DC. Jenis panel PV yang direncanakan dalam perencanaan Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) di SMAN 4 Semarang ini menggunakan panel PV dengan merk INSCOM KMM27100[9]. Biaya dari PV array ditentukan melalui biaya modal yang dimiliki (\$), biaya pengganti komponen (\$), dan biaya operasi & pemeliharaan (\$/yr). Biaya pengganti adalah biaya untuk mengganti sel surya apabila mengalami kerusakan hingga batas waktu garansi.



Gambar 5. Parameter masukan panel surya

B. Inverter

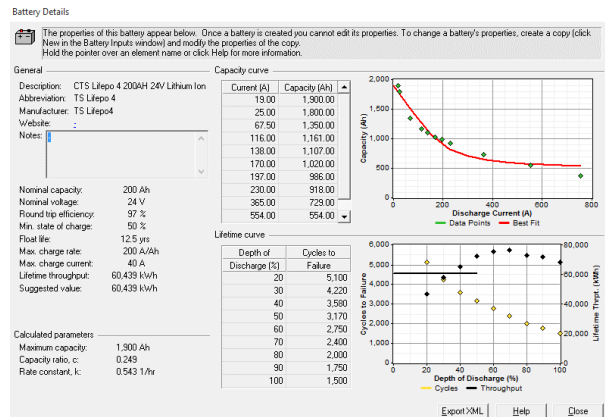
Konverter yang digunakan adalah jenis *off grid* dengan merk Dasstech Soleaf DSP 3345K. Pemilihan *inverter* jenis ini dengan pertimbangan karena spesifikasi dari *inverter* ini memiliki kapasitas yang cukup untuk sistem yang dirancang [10].



Gambar 6. Parameter masukan inverter

C. Baterai

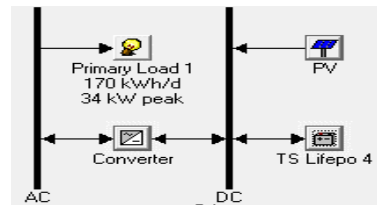
Perencanaan sistem pembangkit energi terbarukan ini di buat dengan sistem *off-grid* sehingga membutuhkan sumber listrik cadangan oleh sebab itu dibutuhkan baterai sebagai sumber listrik sekaligus tempat penyimpanan listrik sehingga sistem dapat mensuplai listrik meski panel tidak memproduksi listrik [11].



Gambar 6. Parameter masukan Grid

3. Simulasi dan Analisis

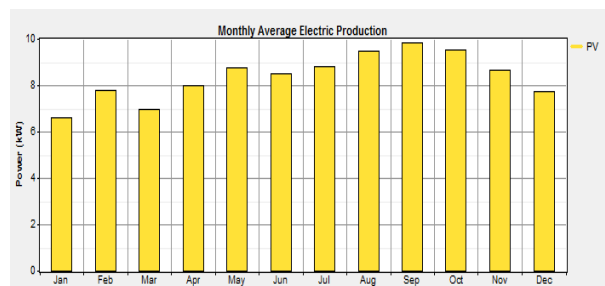
3.1. Analisis Sistem PLTS



Gambar 7 Konfigurasi sistem PLTS

Pada sistem PLTS ini, kebutuhan energi listrik di SMAN 4 Semarang disuplai oleh PV saat siang atau saat matahari bersinar, dan akan berganti menggunakan baterai saat malam hari atau saat matahari tidak bersinar secara maksimal dan PV tidak mampu mensuplai beban. Dan saat PV menghasilkan daya yang berlebih, daya berlebih tersebut akan digunakan untuk mengisi ulang baterai yang telah digunakan. Konfigurasi ini cukup handal karena antara PV dan baterai akan saling back-up agar kebutuhan energi listrik terpenuhi. Keuntungan sistem ini digunakan di daerah tropis seperti Indonesia karena radiasi yang akan selalu ada sepanjang tahun sehingga PV akan menghasilkan daya yang cukup banyak [12].

3.1.1. Panel Surya



Gambar 8 Grafik produksi energi listrik PV

Pada gambar 8 menunjukkan produksi listrik dari PV setiap bulannya. Dari hasil simulasi dapat dilihat jika produksi energi listrik mengalami puncak produksi pada bulan September. Hal ini disebabkan karena radiasi matahari yang terpancar paling banyak ada di bulan September.

Tabel 3. status PV Pada Konfigurasi PV-Batrai

Kuantitas	Nilai	Satuan
Rated capacity	44,2	kW
Mean output	202	kWh/d
Min output	0	kW
Max output	41,4	kW
Total production	73.565	kWh/yr
PV penetration	119	%
Hours of operation	4,380	hr/yr

Pada tabel 3 dapat kita lihat status dari PV pada sistem konfigurasi ini. Tabel diatas didapatkan dari hasil simulasi software HOMER. Dari tabel diatas dapat kita lihat kapasitas pv besar 44,2 kW. PV dalam sistem konfigurasi ini menghasilkan energi rata-rata sebesar 202 kWh/hari. Pv penetration didapat dari perbandingan energi yang dihasilkan dengan energi yang digunakan. Dimana energi yang digunakan sebesar 62.052 kWh.

3.1.2. Baterai

Tabel 4 Status Baterai Pada Sistem PV-Baterai

Kuantitas	Nilai	Satuan
Nominal capacity	269	kWh
Usable nominal capacity	134	kWh
Annual throughput	22.032	kWh
Energy in	22.225	kWh/yr
Energy out	21.699	kWh/yr

Pada tabel 4 dapat kita lihat bahwa energi yang masuk dalam baterai dalam satu tahun sebesar 22.229 kWh dan energi yang digunakan atau keluar dalam satu tahun juga sebesar 21.702 kWh. Daya yang dapat disimpan baterai cukup besar karena baterai merupakan satu-satunya sumber listrik saat malam hari atau saat pv tidak dapat mensuplai kebutuhan listrik secara maksimal. Jadi kapasitas baterai haruslah cukup untuk mensuplai energi listrik setidaknya untuk 1 hari penuh sesuai dengan kebutuhan energi di SMAN 4 Semarang[13].

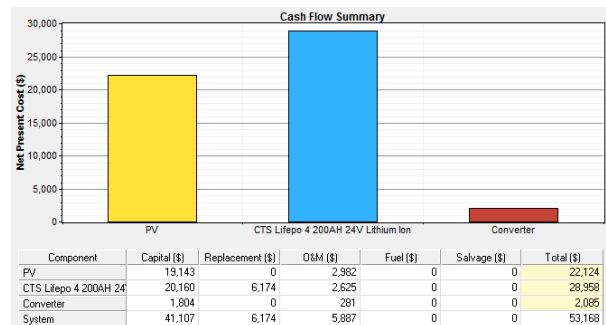
3.1.3. Inverter

Tabel 5 Status Inverter Konfigurasi PV-Baterai

Kuantitas	Nilai	Satuan
Capacity	45	kW
Mean output	7,1	kW
Min output	1,8	kW
Max output	33,7	kW
Hours of operation	8.760	hr/yr
Energy in	63.970	kWh/yr
Energy out	62.052	kWh/yr
Losses	1.918	kWh/yr

Dari tabel 5 didapatkan hasil simulasi status dari inverter menggunakan software HOMER. Dari hasil simulasi tersebut dapat diketahui jika output rata-rata inverter sebesar 7,1 kW dan output maximal sebesar 33,7 kW. Output maksimal ini sesuai dengan kebutuhan beban puncak dimana beban puncaknya adalah 33,7 kW. Inverter ini juga bekerja penuh dalam satu tahun selama 8760 jam/tahun. Dengan masukan sebesar 63.970 kWh/tahun dan keluaran sebesar 62.052 kWh/tahun[14].

3.1.4. Ekonomi



Gambar 9. Perkiraan Biaya PLTS

Dari gambar 9 dapat dilihat NPC dan Annual Cost dari sistem PV_Baterai sebesar \$53.168. Karena nilai NPC tersebut adalah harga untuk 25 tahun maka total beban yang ditanggung juga 25 tahun saat dimasukan sesuai dengan rumus berikut.

$$COE = \frac{Total\ annual\ cost}{AC\ Primary\ Load} = \frac{\$53.168}{62.046\ kWh \times 25} = \$0,034/kWh$$

Dari perhitungan COE diatas didapat rata-rata energi yang harus dibayar untuk mensuplai kebutuhan listrik di SMAN 4 Semarang sebesar \$0,034/kWh. Biaya ini merupakan harga yang di bayarkan untuk energi yang dihasilkan per kWh. Dari hasil tersebut dapat dilihat jika harga per-kWh sistem ini jauh laebih murah dibandingkan dengan harga per kWh dari PLN yang sebesar \$0,098/kWh[15].

3.1.5. Kelayakan Investasi

Pada tabel 6 dapat kita lihat perbandingan antara biaya investasi dan pendapatan (Commulative PVNCF) dari sistem. Pendapatan ini diperoleh dari penghematan biaya listrik, yang kemudian dikurangi biaya pemeliharaan per tahun. Dapat dilihat bahwa pendapatan (Commulative PVNCF) yang diperoleh selama 25 tahun adalah sebesar Rp808.746.315, sudah melebihi dari biaya investasi yang sebesar Rp736.536.304.

Dari tabel 7 mengenai analisis kelayakan investasi PLTS dapat dilihat bahwa nilai Net Present Value (NPV) lebih

besar dari 0 yaitu Rp 72.210.011, sedangkan nilai Benefit – Cost Ratio (B-CR) sebesar 1,098, dan nilai Discounted Payback Period (PP) selama 22,77 tahun lebih kecil dari masa proyek yang selama 25 tahun. Dari parameter diatas dapat disimpulkan jika proyek PLTS di SMAN 4 Semarang layak untuk dilanjutkan [15].

Tabel 6 Arus kas perencanaan sistem PLTS SMAN 4 Semarang

Tahun	Biaya Investasi	Arus Kas Masuk Penghematan	Arus Kas Keluar	Arus Kas Bersih	DF (t=10,50%)	PVNCF	Cumulative PVNCF
1	Rp736.536.304						
2		Rp103.249.599	Rp10.694.516	Rp92.555.083	0,905	Rp83.762.350	Rp83.762.350
3		Rp103.249.599	Rp10.694.516	Rp92.555.083	0,819	Rp75.802.613	Rp159.564.963
4		Rp103.249.599	Rp10.694.516	Rp92.555.083	0,741	Rp68.283.317	Rp228.148.280
5		Rp103.249.599	Rp10.694.516	Rp92.555.083	0,671	Rp62.104.461	Rp290.252.740
6		Rp103.249.599	Rp10.694.516	Rp92.555.083	0,607	Rp56.180.935	Rp346.433.676
7		Rp103.249.599	Rp10.694.516	Rp92.555.083	0,549	Rp50.812.741	Rp397.246.416
8		Rp103.249.599	Rp10.694.516	Rp92.555.083	0,497	Rp45.999.876	Rp443.246.292
9		Rp103.249.599	Rp10.694.516	Rp92.555.083	0,450	Rp41.649.787	Rp484.896.080
10		Rp103.249.599	Rp10.694.516	Rp92.555.083	0,407	Rp37.669.919	Rp522.565.999
11		Rp103.249.599	Rp10.694.516	Rp92.555.083	0,368	Rp34.060.271	Rp556.626.269
12		Rp103.249.599	Rp10.694.516	Rp92.555.083	0,333	Rp30.820.843	Rp587.447.112
13		Rp103.249.599	Rp10.694.516	Rp92.555.083	0,302	Rp27.951.635	Rp615.398.747
14		Rp103.249.599	Rp10.694.516	Rp92.555.083	0,273	Rp25.207.538	Rp640.666.285
15		Rp103.249.599	Rp10.694.516	Rp92.555.083	0,247	Rp22.861.106	Rp663.527.390
16		Rp103.249.599	Rp10.694.516	Rp92.555.083	0,224	Rp20.732.339	Rp684.259.729
17		Rp103.249.599	Rp10.694.516	Rp92.555.083	0,202	Rp18.696.127	Rp702.955.855
18		Rp103.249.599	Rp10.694.516	Rp92.555.083	0,183	Rp16.937.580	Rp719.893.436
19		Rp103.249.599	Rp10.694.516	Rp92.555.083	0,166	Rp15.364.144	Rp735.257.579
20		Rp103.249.599	Rp10.694.516	Rp92.555.083	0,150	Rp13.883.262	Rp749.140.842
21		Rp103.249.599	Rp10.694.516	Rp92.555.083	0,136	Rp12.587.491	Rp761.728.353
22		Rp103.249.599	Rp10.694.516	Rp92.555.083	0,123	Rp11.384.275	Rp773.112.608
23		Rp103.249.599	Rp10.694.516	Rp92.555.083	0,111	Rp10.273.614	Rp783.386.223
24		Rp103.249.599	Rp10.694.516	Rp92.555.083	0,101	Rp9.348.063	Rp792.734.286
25		Rp103.249.599	Rp10.694.516	Rp92.555.083	0,091	Rp8.422.513	Rp801.156.798
					0,082	Rp7.589.517	Rp808.746.315
						Rp808.746.315	

Tabel 7 Analisis kelayakan investasi PLTS

No.	Analisis Kelayakan	Kriteria Kelayakan	Hasil Analisis Investasi	Kesimpulan
1.	Net Present Value (NPV)	Layak (NPV > 0) Tidak Layak (NPV < 0)	Rp 72.210.011	Investasi dianggap layak diinvestasikan karena nilai NPV selama umur proyek lebih besar dari 0.
2.	Benefit – Cost Ratio (B-CR)	Layak (B-CR > 1) Tidak Layak (B-CR < 1)	1,098	Investasi dianggap layak diinvestasikan karena investasi dan pendapatan bernilai lebih kecil dari 1.
3.	Discounted Payback Period (PP)	Layak (DPP lebih pendek dari umur proyek) Tidak Layak (DPP lebih panjang dari umur proyek)	22,77	Karena DPP kurang dari umur proyek, sehingga dikatakan layak.

4. Kesimpulan

Rata-rata daya yang harus disuplai oleh pembangkit hibrida ini adalah sebesar 170,887 kWh per hari dengan beban puncak sebesar 34 kW. Sedangkan daya yang dihasilkan oleh sistem PLTS sebesar 73.565 kWh/tahun dimana 22.229 kWh diantaranya masuk kedalam baterai dalam satu tahun.

Dengan sistem PLTS ini didapat nilai COE atau harga beli listrik per kWh dalam rentan waktu satu tahun adalah \$ 0,034/kWh atau Rp471/kWh. Dengan nilai investasi awal senilai Rp736.536.304.

Berdasarkan analisis ekonomi dari total NPC HOMER dapat diketahui jika pendapatan total sistem PLTS dalam 25 tahun sebesar Rp808.746.315. pendapatan ini masih bisa meningkat dengan cara menambah beban listrik sehingga daya hasil PV dapat dimanfaatkan secara maksimal.

Referensi

- [1]. Kementerian ESDM Republik Indonesia, Rencana Strategis Direktorat Jenderal Ketenagalistrikan 2015-2019. 2015.
- [2]. Earthscan, *Planning and Installing Photovoltaic Systems: A guide for installers, architects and engineers - second edition*. 2008.
- [3]. NASA. Prediction of Worldwide Energy Resource (POWER) Higher Resolution Daily Time Series Climatology Resource for SSE-Renewable Energy.” [Online]. Tersedia: <https://power.larc.nasa.gov/data-access-viewer/>. [Diakses: 08 Februari 2020].
- [4]. W. Omran, “Performance Analysis of Grid-Connected Photovoltaic Systems”, Ph.D thesis, University of Waterloo on Ontario, 2010.
- [5]. Randy Marcellino, (2017), “Perancangan Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) Terpusat Off-Grid System Untuk Pedesaan Terpencil”, UNSKA Riau
- [6]. M. Anang M, A. Nugroho, dan B. Winardi, “Optimasi Penggunaan Sumber Energi Listrik di Gedung Fakultas Psikologi Universitas Diponegoro,” Universitas Diponegoro, 2020.
- [7]. ABB, *Technical Application Papers NO.10 Photovoltaic Plants*, Bergamo Italy, 2008.
- [8]. International Finance Corporation (IFC), *Utility-Scale Solar Photovoltaic Power Plants*. India, 2012.
- [9]. M. Sengupta et al., *Best Practices Handbook for the Collection and Use of Solar Resource Data for Solar Energy Applications*, no. NREL/TP-5D00-63112. 2015.
- [10]. RETScreen International, *Clean Energy Project Analysis: RETScreen Engineering & Cases Textbook*, no. 3. Canada, 2005.
- [11]. E. P. D. Hattu, J. A. Wabang, dan A. Palinggi, “Pengaruh Bayangan terhadap Output Tegangan dan Kuat Arus pada Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS),” Politeknik Negeri Kupang, 2018.
- [12]. Nadia Al-Rousan, Nor Ashidi Mat Isa, and Mohd Kharirunaz M.D “Advances in Solar Photovoltaic Tracking Systems: A review,” Universiti Sains Malaysia, 2018.
- [13]. R. Banerjee, “Solar Tracking System,” Guru Nanak Institute of Technology, 2015.
- [14]. E. Setyani, B. Winardi, dan Karnoto, “Analisis Potensi dan Unjuk Kerja Perencanaan PLTS On Grid System di GOR Jatidiri Semarang Menggunakan Software PVSyst 6.43,” Universitas Diponegoro, 2019.
- [15]. Direktur Jenderal Energi Baru, Terbarukan dan Konservasi Energi, “Panduan Studi Kelayakan Pembangkit Listrik Tenaga Surya Terpusat”, Tetra Tech ES, Inc, Jakarta Selatan, 2018