

PERANCANGAN PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA SURYA (PLTS) BERBASIS HOMER DI SMA NEGERI 6 SURAKARTA SEBAGAI SEKOLAH HEMAT ENERGI DAN RAMAH LINGKUNGAN

Jaka Windarta¹, Enda Wista Sinuraya², Ali Zaenal Abidin³, Andalas Era Setyawan⁴, Angghika⁵
¹Program Studi Magister Energi, Sekolah Pascasarjana, Universitas Diponegoro (UNDIP)
^{2,3,4,5}Program Studi Sarjana, Departemen Teknik Elektro, Fakultas Teknik, UNDIP
E-mail : jokowind@yahoo.com

ABSTRAK

Indonesia sebagai negara tropis mempunyai potensi energi surya yang tinggi dengan radiasi harian rata-rata sebesar 4,5 kWh/m²/hari (Muhammad Bachtiar, 2006). Pemerintah melalui Peraturan Menteri (Permen) Nomor 53 Tahun 2018 tentang pemanfaatan sumber energi terbarukan untuk penyediaan tenaga listrik. Salah satu fasilitas publik yang dapat dijadikan objek penerapan sumber energi terbarukan adalah Sekolah Menengah Atas Negeri 6 Surakarta yang juga pernah menjadi tempat menimba ilmu Presiden Joko Widodo. Pasokan listrik di SMAN 6 Surakarta saat ini hanya bergantung pada PLN. Berangkat dari kondisi tersebut, sesuai dengan PP Nomor 79 Tahun 2014 tentang Kebijakan Energi, penulis menginisiasi Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) sebagai sumber energi listrik terbarukan untuk menyuplai sebagian beban pencahayaan di SMAN 6 Surakarta. PLTS yang digunakan akan menggunakan konfigurasi *Off-Grid*, kapasitas pembangkitan 400 Wp, dilengkapi SCC 40A, Baterai 2×100Ah, dan *Inverter* 500W. Kemudian dengan menggunakan Homer, dapat diketahui jumlah daya yang mampu dihasilkan oleh panel surya sebesar 819 kWh/tahun, sedangkan konsumsi beban per tahun sebesar 411 kWh sehingga diperlukan analisis ekonomi sistem PLTS SMAN 6 Surakarta. Dengan investasi awal sebesar \$1493 atau Rp 20.868.600, didapat nilai *Net Present Cost* sebesar \$1813, nilai *Cost of Energy* sebesar 0.176 \$/kWh, dan balik modal terjadi pada tahun ke-12.

Kata kunci : Energi Baru terbarukan, SMAN 6 Surakarta, Pembangkit Listrik Tenaga Surya, *Off Grid*, HOMER.

ABSTRACT

Indonesia as a tropical country has high solar energy potential with an average daily radiation (insulation) of 4.5 kWh / m² / day (Muhammad Bachtiar, 2006). The Government through Government Regulation PP No. 79 of 2014 concerning Energy Policy determines the target of the renewable energy mix in 2025 to 23%. One of the public facilities that can be used as the object of the application of renewable energy sources is the Surakarta State Senior High School 6 (SMAN 6 Surakarta) which was also a place where President Joko Widodo studied. The electricity supply at SMAN 6 Surakarta currently only depends on PLN. Departing from these conditions, in accordance with PP No. 79 of 2014 concerning Energy Policy, the author initiated a Solar Power Plant as a renewable electrical energy source to supply a portion of the lighting load at SMAN 6 Surakarta. The solar power plant used will use an *Off Grid* configuration, generating capacity equivalent to 400Wp, equipped with a SCC 40A, 2×100Ah Batteries, and a 500W Inverter. Then by using Homer, it can be seen the amount of power capable of being produced by solar panels is 819 kWh / year, while the annual load consumption is 411 kWh so an economic analysis of the PLTS SMAN 6 Surakarta system is needed. With an initial investment of \$ 1493 or Rp 20,868,600, a *Net Present Cost* value of \$ 1813 is obtained, a *Cost of Energy* value of 0.176 \$ / kWh, and a return of investment occurs in the 12th year.

Keywords: Renewable Energy, SMAN 6 Surakarta, Solar Power Plant, *Off Grid*, HOMER

PENDAHULUAN

Latar Belakang

Kebutuhan listrik di SMA Negeri 6 Surakarta dapat dibidang menggunakan energi yang tidak sedikit, sehingga membutuhkan pembiayaan yang cukup tinggi. Penggunaan listrik yang berasal dari PLN dengan daya sebesar 6600 VA, pihak pengelola SMA Negeri 6 Surakarta harus membayar sebesar Rp 1467/Kwh. Bagi instansi pendidikan tingkat sekolah menengah atas, pada umumnya terjadi kesulitan tersendiri dalam pengelolaan anggaran, dikarenakan jumlah murid yang banyak menjadikan kebutuhan listrik dan kebutuhan lainnya menjadi cukup tinggi. Biaya tersebut dapat menjadi kendala bagi pengelola yang seharusnya menitikberatkan fokusnya kepada cara mendidik murid, dan bukan pada permasalahan infrastruktur. Kebutuhan tersebut menyebabkan proses pengelolaan sekolah menjadi tidak optimal, akibat jumlah biaya yang akan terus membengkak. Pembengkakan biaya ini diperkirakan akan terus meningkat, karena energi yang dipakai adalah energi PLN yang berasal dari energi fosil, dan seperti yang telah diketahui bahwa suatu saat energi fosil akan menjadi langka dan mahal. Oleh karena itu, penulis bertujuan untuk menerapkan sumber energi terbarukan yang hemat energi dan ramah lingkungan sehingga dapat membantu pihak sekolah baik dari segi finansial, maupun pembelajaran bagi murid SMA Negeri 6 Surakarta.

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.[5] 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 [6]. Radiasi matahari dan suhu pada panel surya memiliki peranan penting terhadap daya keluaran yang dihasilkan sel surya. Untuk memaksimalkan daya keluaran yang dihasilkan, maka sel surya harus ditempatkan pada lokasi yang mendapatkan radiasi

matahari maksimal dan temperatur normal ruangan.

Studi sejenis yang pernah dilakukan adalah, studi yang dilakukan oleh Andre Barry Prawira dan tim yaitu optimasi penggunaan sistem Pembangkit Listrik Tenaga Surya di Departemen Teknik Elektro Universitas Diponegoro dengan mengoptimalkan lahan parkir untuk dijadikan sebuah sistem PLTS *Off-Grid* sebagai energi tambahan dengan menggunakan perangkat lunak Homer.[2]

Tujuan

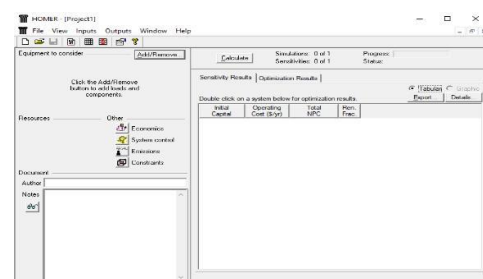
Adapun tujuan utama dari tugas akhir ini adalah sebagai berikut:

1. Menghitung biaya investasi awal pada system PLTS..
2. Mengetahui biaya yang diperlukan selama penggunaan PLTS..
3. Mengetahui nilai energy yang dihasilkan oleh PLTS.
4. Menghitung pada tahun berapa PLTS dapat memberikan keuntungan

Dasar Teori

Homer 2.68

Perangkat lunak HOMER adalah suatu perangkat lunak yang digunakan untuk optimasi model sistem pembangkit listrik skala kecil (micropower), perangkat lunak ini mempermudah evaluasi desain sistem pembangkit listrik untuk berbagai jenis pembangkit listrik skala kecil baik yang tersambung ke jaringan listrik atau pun tidak. Perangkat lunak ini melakukan perhitungan keseimbangan energi ini dalam setahun untuk setiap konfigurasi sistem yang akan dipertimbangkan. Kemudian menentukan konfigurasi yang layak, apakah dapat memenuhi kebutuhan listrik di bawah kondisi yang ditentukan, perkiraan biaya instalasi dan sistem operasi selama masa proyek. Sistem perhitungan biaya seperti biaya modal, penggantian, dan operasi dan pemeliharaan.



Homer bekerja berdasarkan 3 hal yaitu, simulasi, optimasi, dan analisis sensitivitas. Ketiga hal tersebut bekerja secara berurutan demi mendapatkan hasil yang optimal. Tahap pertama adalah simulasi, dimana tahap ini menentukan bagaimana konfigurasi dari sistem, kombinasi dari besarnya kapasitas komponen-komponen sistem, dan strategi operasi yang menentukan bagaimana komponen-komponen tersebut dapat bekerja bersama dalam periode waktu tertentu.

Tahap selanjutnya adalah proses optimasi, Proses optimasi dilakukan setelah proses simulasi dilakukan. Proses simulasi memodelkan dan merancang konfigurasi sistem secara khusus, maka proses optimasi dilakukan untuk menentukan kemungkinan teroptimal dalam konfigurasi sistem. Pada daftar hasil optimasi, Homer mengurutkan nilai *Net Present Cost* (NPC) yang terendah hingga tertinggi. Sebuah sistem dikatakan optimal, apabila salah satu konfigurasi sistem menunjukkan NPC terendah untuk jangka waktu yang telah ditentukan.

Homer mensimulasikan konfigurasi sistem yang berbeda-beda, apabila konfigurasi sistem tidak layak, maka Homer tidak akan menampilkan hasil optimasi sistem tersebut. Di dalam proses optimasi, juga terdapat sistem konfigurasi dari komponen, dan strategi pengisian baterai yang harus digunakan.

Terakhir adalah tahap analisis sensitivitas. Analisis sensitivitas ini akan menunjukkan bagaimana hasil konfigurasi sistem yang optimal apabila nilai parameter masukan (input) berbeda-beda. Pengguna dapat menunjukkan analisis sensitivitas dengan memasukkan beberapa nilai variabel sensitivitas. Pada tahap ini, pengguna homer dapat

memasukkan rentang nilai untuk nilai variabel tunggal ataupun nilai variabel ganda yang dinamakan variabel sensitivitas. Contohnya termasuk harga listrik pada jaringan transmisi, harga bahan bakar, suku bunga pertahun, dan lain-lain dimana parameter tersebut dapat berubah setiap tahunnya.

Analisis Ekonomi

Analisis ekonomi dilakukan untuk mengetahui nilai-nilai ekonomis yang terkandung dalam suatu rencana kegiatan teknik. Suatu aktivitas atau kegiatan teknik akan selalu berawal dengan munculnya ide-ide rancangan teknik yang ingin diterapkan dalam rangka mengatasi keterbatasan Sumber Daya Alam (SDA) guna memenuhi kebutuhan manusia. Dalam hal ini, perlu dilakukan analisa dari segi ekonomis terhadap suatu perancangan pembangkit listrik tenaga surya (PLTS) untuk skala rumah tangga. Analisa tersebut dilakukan dengan menggunakan bantuan aplikasi HOMER. Adapun hal-hal yang perlu diperhatikan dalam keluaran ekonomi HOMER adalah terdiri dari *initial capital operating cost*, *Net Present Cost* (NPC), dan *Cost Of Energy* (COE).

Aspek Biaya

Biaya adalah jumlah uang yang harus dikeluarkan untuk memproduksi sesuatu (*cost of production*) atau harga yang harus dibayar untuk mendapatkan sesuatu (*supply price*). Dalam analisis ekonomi teknik, elemen - elemen biaya dari suatu proyek atau proses produksi umumnya digolongkan atas beberapa kelompok sebagai berikut:

Biaya Investasi

Komponen biaya ini dapat terdiri atas biaya pengadaan lahan, biaya pembangunan fasilitas fisik (gedung, jalan akses, instalasi listrik dan air, dll), biaya pengadaan mesin-mesin dan peralatan pendukung, biaya instalasi mesin-mesin, dan biaya pengadaan peralatan kantor. Pada PLTS biaya investasi adalah biaya penjumlahan dari panel surya, *solar charge controller*, baterai, inverter, pondasi, struktur dan aksesoris listrik lainnya.

**Biaya Operasional dan Perawatan
Komponen**

Biaya ini dapat terdiri atas biaya pengadaan bahan baku, biaya listrik dan bahan bakar, biaya tenaga kerja dan gaji staf, biaya bahan kemasan dan bahan pendukung lainnya, biaya distribusi, serta biaya umum dan operasional kantor. Dimana biaya operasional dan perawatan sebesar 1%-2% dari biaya investasi[15]. Pada *software* Homer, biaya operasional dan perawatan diatas dijumlahkan dengan biaya penggantian peralatan dalam masa waktu proyek. Sebagai contoh, PLTS pada umumnya memiliki masa proyek 25 tahun sedangkan umur baterai hanya sekitar 5 tahun. Artinya penggantian baterai dilakukan selama 5 kali pada masa proyek PLTS dengan biaya penggantian sebanyak 5 kali.

Net Present Cost (NPC)

Biaya Net Total Masa Kini (*Total Net Present Cost / NPC*) adalah keluaran ekonomi yang paling utama untuk nilai suatu sistem PLTS, HOMER akan mengurutkan data hasil keluaran simulasi dan optimasi berdasarkan nilai NPC terendah. *Software* Homer menghitung total NPC dengan menggunakan persamaan berikut:

$$Cost\ NPC = \frac{Cann,tot}{CRF(i,Rproj)}$$

Dimana :

Cann, tot = Total biaya tahunan (\$/tahun)

CRF = Faktor penutupan modal

i = Suku bunga (%)

Rproj = Lama proyek (Tahun)

N = Jumlah Tahun

Sedangkan faktor penutupan modal bisa didapatkan dengan menggunakan persamaan sebagai berikut :

$$CRF(i,N) = \frac{i(1+i)^N}{(1+i)^N - 1}$$

Tingkat Suku Bunga

Perbandingan yang valid antara penerimaan-penerimaan dimasa mendatang dengan pengeluaran dana sekarang adalah hal yang sulit dilakukan karena ada perbedaan nilai waktu uang. Masalah ini dapat diatasi dengan menggunakan konsep nilai waktu uang (*Time Value of Money*).

Tingkat suku bunga yang digunakan untuk menilai sekarangkan penerimaan-penerimaan tersebut dapat berupa tingkat suku bunga pasar (tingkat suku bunga bank). Untuk tingkat suku bunga yang diterapkan adalah sebesar 6% [17]

Biaya Energi (Cost of Energy)

Biaya energi merupakan perbandingan antara biaya total per tahun dari sistem dengan energi yang dihasilkannya selama periode yang sama. Dilihat dari sisi ekonomi, biaya energi PLTS berbeda dari biaya energi untuk pembangkit konvensional. Hal ini karena biaya energi PLTS, dipengaruhi oleh biaya-biaya seperti:

- a. Biaya awal (biaya modal) yang tinggi
- b. Tidak ada biaya untuk bahan bakar
- c. Biaya pemeliharaan dan operasional rendah
- d. Biaya penggantian rendah (terutama hanya untuk baterai).
- e. Biaya energi dapat diketahui dengan persamaan sebagai berikut :

$$COE = \frac{total\ annualized\ cost}{consumption\ energy\ \left(\frac{kWh}{year}\right)}$$

Break Even Point (Unit)

Break Even Point merupakan kondisi dimana pendapatan suatu perusahaan sama dengan biaya yang ditanggung selama masa proyek tertentu. Pendapatan didapat dari perkalian jumlah unit barang yang terjual dengan harga satuannya sedangkan biaya pada proyek diketahui dari penjumlahan biaya tetap dan biaya variabelnya. Nilai BEP dalam satuan unit dapat diketahui dari persamaan berikut :

$$BEP\ (Unit) = \frac{a}{p-b}$$

Dimana :

a= Biaya tetap

b= Biaya variable

p = Harga jual per unit

Persamaan tersebut digunakan untuk mencari jumlah unit yang perlu dijual untuk mencapai titik balik modal, untuk mengetahui nilai pendapatan yang di dapat ketika nilai BEP dapat digunakan persamaan berikut :

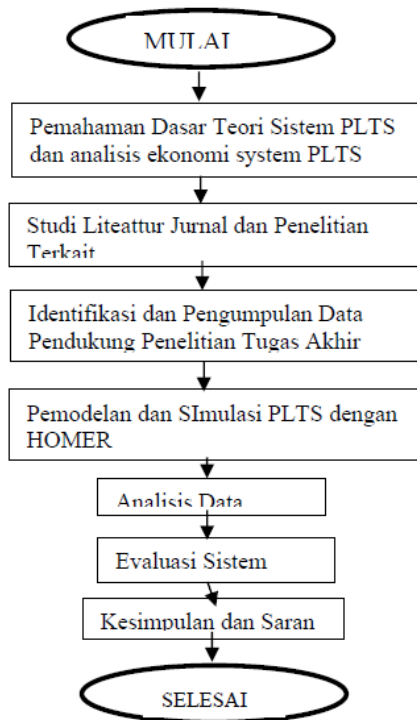
$$\text{BEP (Unit)} \times \text{COE} = \text{Hasil penjualan listrik saat BEP} \quad (2.11)$$

Dengan mengetahui pendapatan ketika terjadi BEP, maka dengan mengetahui proyeksi pendapatan selama masa proyek, dapat diketahui pula pada tahun berapa akan terjadi BEP.

METODE

a. Metode Perancangan Simulasi

Diagram alir dari Tugas Akhir berjudul “Analisis Ekonomi Teknik Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) Sistem *Off grid* menggunakan Homer di SMA N 6 Surakarta” dapat dilihat pada gambar 2. berikut:



Gambar 2. Diagram Alir Pengerjaan

Berdasarkan gambar 2. dapat dilihat bahwa pada tahap awal untuk dapat melakukan analisis ekonomi pembangkit listrik tenaga surya (PLTS) diperlukan pemahaman terlebih dahulu mengenai perancangan PLTS, seperti jenis-jenis panel surya, prinsip kerja, komponen pendukung, pemilihan spesifikasi komponen, kebutuhan beban dan lain-lain. Oleh karena itu dibutuhkan studi literatur melalui jurnal atau penelitian terkait yang dapat membantu dalam pemahaman dan perancangan PLTS. Kemudian setelah memahami tentang dasar teori dan perancangan PLTS, tahapan selanjutnya adalah identifikasi dan pengumpulan data pendukung terkait lokasi pemasangan dan kebutuhan beban di lokasi pemasangan PLTS. Identifikasi ini bertujuan untuk mengetahui kondisi riil di lapangan seperti potensi radiasi matahari, suhu dan beragam faktor lainnya yang akan berpengaruh pada PLTS.

Data yang diperoleh berasal dari data yang tersedia di website NASA, yang nantinya akan digunakan sebagai data untuk perancangan instalasi PLTS menggunakan *software* Homer. Setelah diperoleh data, maka langkah selanjutnya adalah perancangan sistem PLTS dan instalasi listrik. Pada tahap ini akan divisualisasikan desain instalasi PLTS yang akan dibuat beserta penentuan spesifikasi komponen-komponen lainnya, serta menyesuaikan kebutuhan beban listrik pada setiap warung dan fasilitas umum yang akan dipasok listrik dari PLTS. Kemudian, dilakukan pengolahan data menggunakan *software* Homer untuk menemukan potensi dan juga analisis energi listrik yang dihasilkan oleh PLTS, serta menggunakan Microsoft Excel untuk memperhitungkan jumlah beban. Setelah seluruh perancangan dan analisis data selesai, maka tahapan selanjutnya adalah penginstalasian PLTS serta instalasi listrik di warung dan fasilitas umum. Kemudian, seluruh PLTS dan beban terpasang, maka dilakukan pengujian kinerja PLTS dalam memasok beban. Pengujian yang dilakukan adalah pengujian individu peralatan, dan pengujian sistem secara menyeluruh hingga pengujian beban. Setelah dilakukan pengujian sistem secara individu

dan menyeluruh, maka data hasil pengujian dapat di analisis dan di evaluasi sehingga pengontrolan sistem dapat dilakukan serta dapat diambil kesimpulan dan saran yang akan berguna pada pengembangan penelitian.

b. Deskripsi Lokasi Perancangan Pembangkit Listrik Tenaga Surya SMA N 6 Surakarta

Kebutuhan listrik di SMA Negeri 6 Surakarta dapat dibilang menggunakan energi yang tidak sedikit, sehingga membutuhkan pembiayaan yang cukup tinggi. Penggunaan listrik yang berasal dari PLN dengan daya sebesar 6600 VA, pihak pengelola SMA Negeri 6 Surakarta harus membayar sebesar Rp 900/Kwh. Bagi instansi pendidikan tingkat sekolah menengah atas, pada umumnya terjadi kesulitan tersendiri dalam pengelolaan anggaran, dikarenakan jumlah murid yang banyak menjadikan kebutuhan listrik dan kebutuhan lainnya menjadi cukup tinggi.



Gambar 3. SMA 6 Surakarta

2. Potensi Pemanfaatan Energi Matahari di SMAN 6 Surakarta

SMA N 6 Surakarta yang berlokasi di Jl. Mr. Sartono, Solo , Jawa Tengah memiliki potensi energi matahari sebagai salah satu energi terbarukan yang cukup besar. Data yang diperoleh dari *website* NASA (*National Aeronautics and Space Administration*) mengenai intensitas radiasi matahari, dan temperatur wilayah dapat digunakan guna mengolah data mengenai potensi pemanfaatan energi matahari menjadi PLTS di Kota Solo, Jawa Tengah.

Intensitas radiasi matahari dan temperatur wilayah menjadi salah satu parameter penting dalam menentukan

potensi daya kelauran PLTS. Di wilayah Kota Solo, Jawa Tengah, didapatkan hasil pengukuran intensitas radiasi matahari dari *website* NASA seperti pada tabel 1 berikut ini.

Tabel 1 Data intensitas radiasi Matahari di kota Solo, Jawa Tengah tahun 2018

Bulan	Intensitas Radiasi Matahari (Kwh/m ² /hari)
Januari	10,306
Februari	10,239
Maret	10,124
April	10,053
Mei	9,689
Juni	9,625
Juli	9,132
Agustus	9,221
September	9,607
Oktober	9,768
November	10,203
Desember	10,253
Rata-Rata	8.208

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 Solo, Jawa Tengah adalah pada bulan Januari dengan intensitas radiasi sebesar 10.306 Kwh/m²/hari.

Kemudian parameter lainnya yang cukup berpengaruh adalah temperatur. Temperatur ambien suatu wilayah dapat mempengaruhi pengoperasian dan daya maksimum panel surya. Kenaikan temperatur pada modul dapat menyebabkan berkurangnya efisiensi modul panel surya sesuai dengan koefisien temperatur dari modul.

Hal tersebut menunjukkan bahwa temperatur adalah salah satu faktor yang harus diperhatikan dalam memperhitungkan kapasitas daya (Wp) PLTS yang akan dibangkitkan.

Tabel 2 Data temperatur rata-rata di kota Solo, Jawa Tengah tahun 2018

Bulan	Temperatur Rata-rata
	(°C)
Januari	27.9
Februari	27.9
Maret	26.9
April	29.0
Mei	29.0
Juni	29.0
Juli	29.5
Agustus	31.3
September	33.2
Oktober	33.6
November	30.5
Desember	28.6
Rata-Rata	29.7

Berdasarkan data pada tabel.2, diketahui bahwa pada tahun 2018 data temperatur wilayah tertinggi di Kota Solo, Jawa Tengah adalah pada bulan Oktober dengan nilai 33,6 °C.

Beragam data diatas membuktikan bahwa potensi pemanfaatan energi matahari sebagai PLTS di Kota Solo, Jawa Tengah khususnya di SMA N 6 Surakarta memiliki potensi pemanfaatan energi matahari sebagai PLTS yang cukup besar.

c. Sistem Pembangkit Listrik Tenaga Surya

Konfigurasi PLTS yang akan diimplementasikan pada SMA N 6 Surakarta adalah menggunakan konfigurasi *Off-Grid with Battrey*. *Off-Grid with Battrey* adalah sistem pembangkit listrik tenaga surya yang menggunakan energi matahari diubah menjadi energi listrik dan disimpan di dalam baterai sebagai sumber utama penyuplai beban.

Melalui *software* Homer, potensi produksi listrik, perencanaan sistem, spesifikasi komponen pendukung, dan beragam parameter lainnya selama periode waktu tertentu dapat diidentifikasi dengan baik. Simulasi perencanaan PLTS dengan *software*

Homer dilakukan dengan menggunakan data NASA Tahun 2018.

Untuk melakukan analisis ekonomi dari PLTS ini, perlu diketahui biaya investasi awal dari masing-masing peralatan, termasuk biaya pemasangan pondasi dan struktur. Berikut biaya investasi awal PLTS SMA N 6 Surakarta :

Tabel 3.3 Biaya investasi awal serta biaya operasional dan pemeliharaan

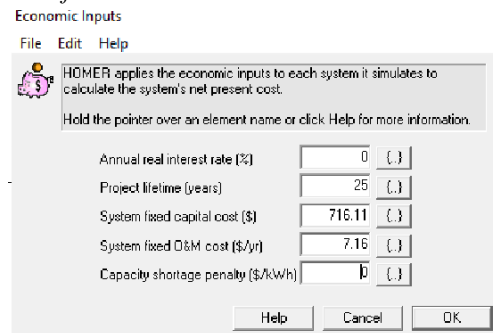
Komponen	Harga (Rp)
Panel Surya 100 Wp	Rp4,200,000
Kabel Panel Surya-SCC	Rp250,000
PV1F	
Box Panel	Rp950,000
Surge Protection Device	
DC	Rp470,000
Ground Busbar	Rp70,000
BC Chopper	Rp45,600
Ground rod	Rp120,000
MCB DC 10 A	Rp164,000
Terminal Blok	Rp10,000
Solar Charge Controller	Rp2,200,000
Baterai 100 Ah	Rp5,400,000
Kabel SCC-Baterai NYM	Rp105,000
Kabel baterai-inverter	
NYM	Rp52,500
Inverter 500 w	Rp1,059,000
Kabel AC NFA2X	Rp840,000
MCB AC 2 A	Rp70,000
Surge Protection Device	
AC	Rp1,587,000
ATS	Rp780,000
Sambungan Panel surya	Rp180,000
Kabel dag	Rp1,250,000
TOTAL	Rp20.868.600

Selain biaya komponen PLTS, biaya yang perlu diperhitungkan adalah biaya aksesoris listrik dan biaya pondasi serta struktur dari PLTS. Biaya tersebut berjumlah \$716,11. Kemudian biaya operasional dan pemeliharaan sebanyak 1% sebesar \$7,16. Kedua biaya tersebut menjadi masukan untuk *software* Homer untuk perhitungan ekonomi.

Nilai masukan lainnya adalah suku bunga tahunan adalah 0%. Hal ini karena pemasangan PLTS di SMAN 6 Surakarta menggunakan dana hibah dari Kementerian

Riset dan Pendidikan Tinggi. Sehingga analisis ekonomi yang memiliki sumber dana hibah tidak memerlukan suku bunga tahunan atau nilai suku bunga menjadi 0% dikarenakan tidak dilakukan peminjaman kepada bank.

Berikut hasil masukan data ekonomi ke *software* Homer :

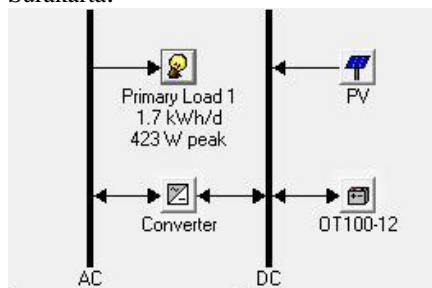


Gambar 3.1 Data analisis ekonomi tanpa menggunakan suku bunga

d. Perancangan Spesifikasi Komponen PLTS

Dalam pembuatan rancangan PLTS di SMAN 6 Surakarta, diperlukan beragam komponen pendukung yang berguna untuk mengoptimalkan kinerja sistem PLTS tersebut.

Selain itu dalam pembuatan perancangan ini, digunakan sebuah perangkat lunak Homer untuk memodelkan sistem pembangkit listrik tenaga surya. Komponen-komponen dari PLTS yang dimodelkan di perangkat lunak Homer adalah panel surya dan baterai yang terhubung dengan satu busbar DC. Kemudian *Converter* (DC ke AC) yang terhubung dengan beban di SMAN 6 Surakarta.

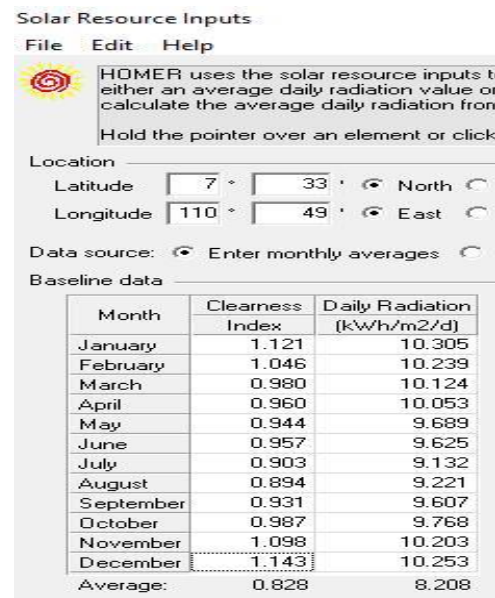


Gambar 2 Pemodelan sistem pembangkit listrik tenaga surya di SMAN 6 Surakarta

Setelah dilakukan pemodelan seperti gambar 2, maka langkah selanjutnya adalah memasukan parameter-parameter dari komponen PLTS yang dibutuhkan. Adapun penggunaan komponen dari sistem PLTS ini antara lain:

- Iradiasi Matahari

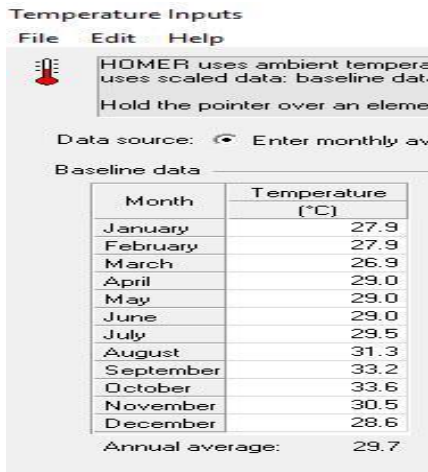
Iradiasi matahari merupakan salah satu faktor utama dalam pembangkitan energi listrik tenaga surya. SMAN 6 Surakarta terletak pada koordinat 7°33' LS dan 110°49' BT [8] dan zona waktu GMT+07:00 dengan radiasi matahari di SMA N 6 Surakarta yang dapat dilihat pada tabel 1. Data tersebut kemudian dimasukan ke *software* Homer seperti berikut :



Gambar 3 Data iradiasi matahari

- Temperatur

Temperatur merupakan salah satu parameter yang berpengaruh terhadap keluaran daya panel surya. Temperatur yang dimasukan pada *software* Homer ini adalah temperatur ambien. Berikut hasil masukan temperatur pada *software* Homer.



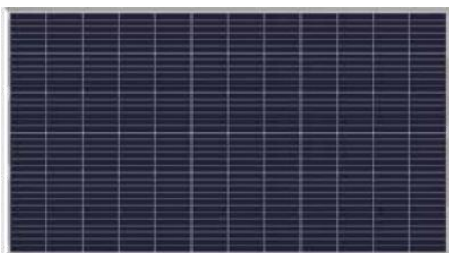
Gambar 4. Data temperatur SMA N 6 Surakarta

- Panel Surya

Jenis panel surya yang digunakan dalam perencanaan pembangkit listrik tenaga surya (PLTS) di SMAN 6 Surakarta ini menggunakan panel surya dengan merk INSCOM KMM27100. Dengan tipe sel *Monocrystalline silicon* dan spesifikasi ditunjukkan pada tabel 5. sebagai berikut:

Tabel 4 Spesifikasi Panel Surya SW 150P

Jenis Spesifikasi Teknis	Nilai
Daya Maksimum (P_{max})	100 Wp
Tegangan Rangkaian Terbuka (V_{oc})	22,6 V
Arus Hubung Singkat (I_{sc})	5,65 A
Tegangan Maksimum (V_{mp})	18,7 V
Arus Maksimum (I_{mp})	5,35 A



Gambar . Panel Surya INSCOM KMM27100

Untuk mengetahui kebutuhan kapasitas total dari panel surya agar dapat menyuplai di SMAN 6 Surakarta, maka

digunakan persamaan 2.1. Untuk menghitung kebutuhan kapasitas modul diperlukan parameter total energi per hari, data iradiasi terendah pada tahun 2018, serta rugi rugi pada saat siang hari dan malam hari. Dari tabel 3.1 diketahui iradiasi terendah adalah 9.132 Kwh/m²/hari, dan dari tabel 3.3 diketahui total energi per hari di SMAN 6 Surakarta adalah 1584 Wh. Sedangkan rugi-rugi pada siang hari dan malam hari dapat dilihat berdasarkan asumsi pada Buku Dos & Don'ts.

No	Jenis Rugi-Rugi	Nilai Persentase Rugi-Rugi
1	Modul PV	6.15%
2	<i>Solar Charge Controller</i>	2%
3	Baterai	20%
4	<i>Inverter</i>	11%
5	Pengkabelan	1%
Total % Rugi-Rugi		3
4.0%		
Malam		
Total % Rugi-Rugi		2
9,2 %		
Siang		

Maka kebutuhan kapasitas modul surya adalah :

$$\text{Kapasitas Modul} = \frac{\text{Total Energi Modul}}{\text{Minimum Radiasi}} \times 1000$$

$$\begin{aligned} \text{Dimana, Total Energi Modul} &= \\ &= \frac{\text{Energi Malam}}{100\% - \text{rugi rugi Malam}} + \frac{\text{Energi Siang}}{100\% - \text{rugi rugi siang}} \\ &= \frac{1.584 \text{ kWh}}{100\% - 34\%} + \frac{0}{100\% - 29.2\%} \\ &= 2,4 \text{ kWh} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Sehingga, Kapasitas Modul} &= \frac{2,4 \text{ kWh}}{9,132} \times 1000 \\ &= 262 \text{ Wp} \end{aligned}$$

Sehingga, Kapasitas Modul = $2,4 \times 1000 / 9,132 = 262 \text{ Wp}$

Namun, pada kenyataannya terdapat selisih antara data dari NASA dengan data sesungguhnya di lokasi yang menyebabkan adanya faktor kali.

Kapasitas Modul Sementara 262.823 Wp
 Faktor Kali 1.281
Kapasitas Modul Akhir 336.562 Wp

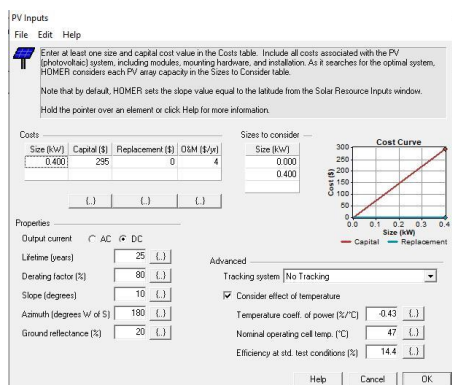
ditunjukkan pada gambar 3.9 dan spesifikasi yang ditunjukkan tabel 3.7

Tabel 3.5 Spesifikasi *Inverter Off-grid* merk visero

Jenis Spesifikasi Teknis	Nilai
Daya Keluaran	500 W
Daya Maksimum	1000 W
Frekuensi Keluaran	50Hz
Tegangan Input	DC 12 V
Tegangan Keluaran	AC 230V
Efisiensi ()	94%

Dengan spesifikasi panel surya 100 Wp, maka dibutuhkan 4 unit untuk dapat memenuhi kebutuhan beban di SMAN 6 Surakarta. Untuk kemiringan panel surya, dimasukan pilihan dari 10° - 15° yang kemudian *software* Homer dapat memperkirakan jumlah daya yang dihasilkan PLTS dari pilihan kemiringan tersebut. Biaya yang diperlukan untuk 4 panel surya 100 Wp adalah Rp4.200.000 yang dikonversi menjadi dollar amerika menjadi \$294,78 (Kurs tanggal 11 Februari; \$1 = Rp 14.224,22). Dan juga dengan nilai *Operation*

& *Maintenance* sebesar 1% yaitu \$2,9. Selanjutnya, data panel surya tersebut dapat dimasukan ke perangkat lunak Homer seperti berikut :



Gambar 6. Hasil input panel surya pada perangkat lunak Homer

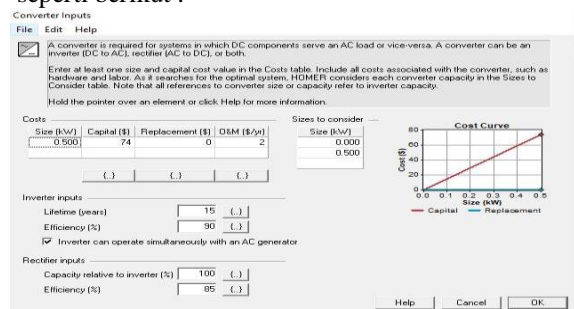
- Inverter

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. *Inverter* yang digunakan dalam sistem PLTS ini adalah jenis *off grid* dengan merk Visero model VIO 500W PSW seperti yang



Gambar 7 *Inverter off-grid* merk Kenika model DC12-2000P

Biaya yang dibutuhkan untuk mendapatkan 1 inverter jenis ini adalah sebesar Rp 1.059.000 yang dikonversi menjadi dollar amerika menjadi \$74 (Kurs tanggal 11 Februari; \$1 = Rp 14.224,22). Dan juga dengan nilai *Operation* & *Maintenance* sebesar 1% yaitu \$0,74. Kemudian data spesifikasi inverter tersebut, dapat dimasukan ke perangkat lunak Homer seperti berikut :



Gambar 8 Hasil input inverter pada perangkat lunak Homer

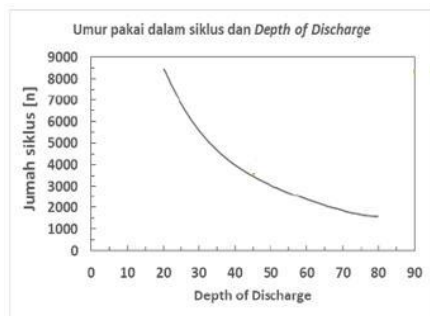
- Baterai

Baterai merupakan komponen sistem PLTS yang cukup penting apabila PLTS terpasang secara *off-*

grid. Baterai ini berfungsi sebagai alat penyimpan energi yang dihasilkan oleh Panel Surya. Tanpa adanya baterai, maka PLTS hanya dapat digunakan pada siang hari atau pada kondisi matahari bersinar. Baterai yang akan digunakan dalam perancangan system PLTS ini adalah jenis Energy Cell 106-RE seperti yang ditunjukkan pada gambar 3.11 dan spesifikasi yang ditunjukkan tabel 3.8. baterai ini memiliki kapasitas 100 Ah dengan tegangan normal kerja 12 Volt. Dengan 2 unit baterai yang sama dan pemasangan baterai secara parallel, maka didapatkan tegangan kerja 12 Volt dan kapasitas total 200 Ah.

Tabel 3.6 Spesifikasi Baterai

Jenis Spesifikasi Teknis	Nilai
Tegangan Normal	12 V 100 Ah @ 10hr to 1.75 V Per Cell @ 25°C
Kapasitas	100 Ah
Tahanan Dalam	4 mΩ
Batas Maksimum Pengisian Arus	30 A
Tegangan Float Charging	13.6 – 13.8 VDC @25°C
Tegangan Absorbed	14.5-14.9 VDC @25°C

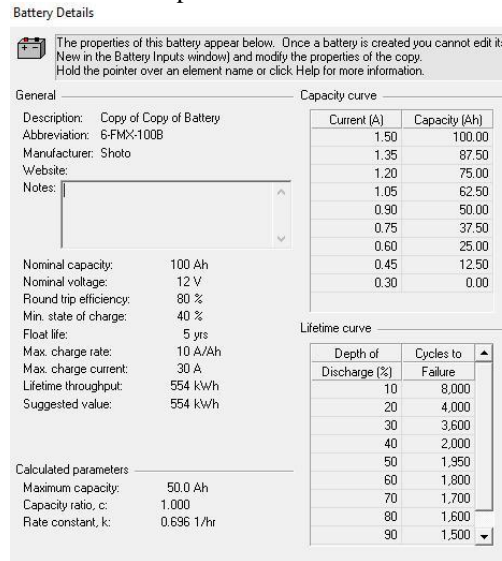


Gambar 9. Perbandingan siklus pemakaian dengan Depth of Discharge



Gambar 10 Baterai Outdo OT100-12

Kemudian data spesifikasi baterai tersebut, dapat dimasukkan ke perangkat lunak Homer seperti berikut :



Gambar 11 Inputan data spesifikasi baterai

Untuk mengetahui kapasitas baterai yang dibutuhkan, maka perlu diketahui jumlah perkiraan energi per hari dan perkiraan beban puncak. Kemudian digunakan persamaan 2.4 untuk mengetahui hari otonom yang dibutuhkan seperti berikut :

$$\text{Energi yang dibutuhkan} = 4,534 \times 2 = 9,068 \text{ kWh}$$

Menurut hukum Arrhenius, usia pakai baterai berkurang hingga 50% tiap kenaikan suhu sebesar 10°C. Usia pakai 100% umumnya dicapai pada suhu ruangan sebesar 20°C. Maka dengan asumsi suhu mencapai 30°C dengan persamaan 2.5 didapat :

$$\text{Siklus Baterai} = \frac{365 \times 5}{50\%} = 3650 \text{ Siklus}$$

Dengan jumlah siklus yang dipersyaratkan 3650 siklus, maka dengan melihat gambar 12 maka didapat *Depth of Discharge* (DoD) yang dipersyaratkan adalah 25%. Setelah mengetahui nilai DoD yang dipersyaratkan dan nilai efisiensi baterai, dengan persamaan 2.6 didapat kapasitas baterai yang dibutuhkan, yaitu :

$$\text{Kapasitas yang dibutuhkan} = \frac{9,068}{0,85 \times 0,25} = 42,67 \text{ kWh}$$

Periksa kembali nilai kapasitas yang dibutuhkan dengan beban puncak. Beban puncak tidak boleh lebih tinggi dari tingkat pemakaian C10. Dimana tingkat C10 dapat ditentukan dengan pembagian kapasitas yang dibutuhkan dengan waktu 10 jam seperti berikut :

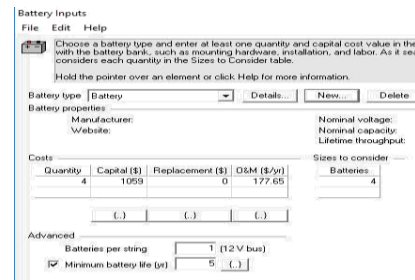
$$\text{Tingkat C10} = \frac{42,67}{10 \text{ jam}} = 4,2 \text{ kW}$$

Oleh karena itu, digunakan bank baterai dengan spesifikasi sebesar 4,8 kWh. Kemudian dengan mengetahui tingkat C10 baterai sebesar 4,2 kW dan beban puncak sebesar 0,5 kW. Dapat dilakukan pengecekan kembali yang menyatakan beban puncak lebih kecil dibandingkan dengan tingkat C10 yang berarti kapasitas baterai memenuhi kebutuhan beban di SMAN 6 Surakarta.

Kemudian, biaya yang dibutuhkan untuk mendapatkan 4 unit baterai jenis ini adalah sebesar Rp 14.663.750,- yang dikonversi menjadi dollar amerika menjadi \$1044,8 yang dijumlah dengan aksesoris seperti kabel menjadi \$1059 (Kurs tanggal 11 Februari; \$1 = Rp 14.034,22). Dan juga dengan nilai *Operation & Maintenance* sebesar 1% yaitu \$10,4. Kemudian nilai O&M ditambah dengan biaya penggantian baterai setiap 5 tahun selama 25 tahun tercatat frekuensi penggantian sebanyak 4 kali, dengan nilai dollar per tahun yaitu sebesar :

$$\begin{aligned} \text{Biaya penggantian baterai per tahun} &= \frac{\$1045 \times 4}{25} \\ &= \$167,2 \text{ per tahun} \end{aligned}$$

Jadi, biaya *operation & maintenance* untuk baterai sebesar \$177,6. Data-data tersebut dimasukkan pada perangkat lunak homer seperti berikut :



Gambar 14. Hasil input baterai pada perangkat lunak Homer

- Solar Charger 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. 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.

Solar Charger Controller yang digunakan menerapkan teknologi MPPT (*Maximum Power Point Tracking*) untuk mengatur fungsi pengisian baterai dan pembebasan arus dari baterai ke beban. Hal yang perlu diperhatikan dalam pemilihan *solar charger controller* adalah tegangan kerja, nilai arus dan *undervoltage cut* yang berfungsi memutuskan pengisian baterai ketika baterai sudah penuh. Berikut spesifikasi *solar charger controller* yang digunakan :

Tabel 3.7 Spesifikasi *Solar Charger Controller*

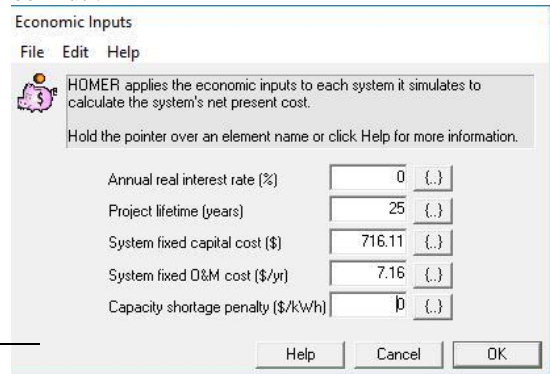
Jenis Spesifikasi Teknis	Nilai
<i>System Nominal Voltage</i>	12/24 VDC Auto
Rated Charge Current	40 A
Rated Discharge Current	40 A
Battery Voltage	8-32 V

Range	
Max. PV Open Circuit Voltage	100 Vdc
MPP Voltage Range	2V - 72 V 520 W/12 V
Max. PV Input Power	1040W/24 V
Self-Consumption	≤ 12 mA
Discharge Circuit Voltage	≤ 0.23 V
Drop Temperature	
Compensate Coefficient	- 3mV/°C/2V
Grounding	Common Negative
Working Environment Temperature	-25°C -50°C



Gambar 15. Solar Charger Controller MPPT

25 tahun yang kemudian dimasukkan ke parameter perhitungan Homer seperti berikut :



Gambar 16. Masukan ekonomi skenario 1

Maka dihasilkan simulasi seperti berikut :

	PV (kW)	OT100-12	Conv. (kW)	Initial Capital	Operating Cost (\$/yr)	Total NPC	COE (\$/kWh)
	0.4	2	0.5	\$ 1,493	13	\$ 1,813	0.176

Gambar 17. Hasil simulasi Homer

Pada gambar 17. dapat dilihat hasil simulasi Homer dengan suku bunga 0%.

HASIL

a. Hasil Simulasi pada HOMER

1. Energi yang dihasilkan Panel Surya
Hasil simulasi pada HOMER untuk hasil energy yang dihasilkan Panel Surya dapat dilihat pada gambar 16. Berikut ini :

Production	kWh/yr	%	Consumption	kWh/yr	%
PV array	819	100	AC primary load	411	100
Total	819	100	Total	411	100

Gambar 16. Energi yang dihasilkan Panel Surya

Berdasarkan Gambar 16. Dapat diketahui dengan rata rata radiasi 8,208 kWh/m² dan rata rata temperature 29,7°C panel surya menghasilkan energy listrik sebesar 819 kWh per tahun. Energy tersebut cukup untuk menyuplai beban yang membutuhkan energy sebesar 411 kWh per tahun, sedangkan sisa energy akan disimpan pada baterai.

2. Analisis Ekonomi

Pada simulasi tidak menggunakan nilai suku bunga dikarenakan sumber dana dari hibah pemerintah dengan masa proyek

1. NPC (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. Nilai NPC dari sistem PLTS SMAN 6 Surakarta dapat dilihat pada tabel 4.7 berikut:

Tabel 4.1 Nilai NPC per tahun

Year	Annual (\$)	Cumulative (\$)
0	-1,493	-1,493
1	-13	-1,506
2	-13	-1,519
3	-13	-1,532
4	-13	-1,544
5	-13	-1,557
6	-13	-1,570
7	-13	-1,583
8	-13	-1,596
9	-13	-1,608
10	-13	-1,621

11	-13	-1,634
12	-13	-1,647
13	-13	-1,660
14	-13	-1,672
15	-13	-1,685
16	-13	-1,698
17	-13	-1,711
18	-13	-1,724
19	-13	-1,736
20	-13	-1,749
21	-13	-1,762
22	-13	-1,775
23	-13	-1,788
24	-13	-1,800
25	-13	-1,813

Pada tabel 4.7 dapat dilihat total biaya yang harus 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 \$1813 atau setara dengan Rp 25.336.675,- pada kurs dollar terhadap rupiah sebesar Rp 13.975,-.

2. COE (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 4.13 dapat dilihat, nilai COE yang didapat oleh Homer adalah \$0.176 per kWh atau setara dengan Rp 2.459,- per kWh pada kurs dollar terhadap rupiah sebesar Rp 13.975.

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 hasil penjualan listrik per tahun sebagai berikut :

Hasil penjualan listrik per tahun

$$= \text{COE} \times \text{AC Primary Load}$$

$$= \$0.176/\text{kWh} \times 1584$$

$$= \$101,756 = \text{Rp } 1.422.042$$

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

3. BEP (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 dalam unit diperlukan untuk dapat memperkirakan pada tahun ke berapa investor mulai mengalami keuntungan. Dikarenakan *software* Homer tidak menghitung nilai BEP, maka digunakan perhitungan secara manual. Menurut persamaan 2.10 untuk mencari nilai BEP dalam unit dibutuhkan beberapa parameter, seperti biaya tetap, COE dan biaya variabel. Biaya variabel dapat diketahui dengan melakukan pembagian biaya operasional dan pemeliharaan per tahun dengan jumlah kWh yang digunakan per tahun sebagai berikut :

$$\text{Rata-Rata Biaya O\&M} = (\text{NPC} - \text{Biaya Investasi Awal}) / 25$$

$$= (2744 - 1464) / 25$$

$$= \$51,2$$

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

$$\text{Fixed Cost} = \$1464$$

$$\text{COE} = \$0,182/\text{kWh}$$

$$\text{Variable Cost} = \$51,2/1584 = \$0,032$$

Maka didapat nilai kWh yang perlu dijual sebesar :

$$\text{BEP (Unit)} = \frac{1464}{0,182 - 0,032} = 9.760 \text{ kWh}$$

Dari perhitungan tersebut dapat diketahui untuk mendapatkan titik balik

modal, maka diperlukan penjualan daya sebesar 9.760 kWh. Sedangkan untuk mengetahui pendapatan yang perlu diterima agar terjadi BEP digunakan persamaan 2.11 sebagai berikut :

$$\text{Hasil penjualan listrik ketika BEP} = 9.760 \times 1,04 = \$10.150$$

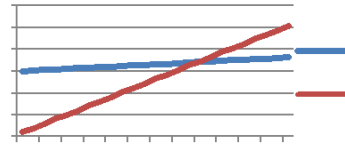
Sehingga pendapatan yang perlu diterima agar terjadi BEP adalah \$1813 Dengan pendapatan penjualan listrik per tahun sebesar \$101,756 maka pendapatan selama 25 tahun dapat dilihat pada tabel 4.8 :

Tabel 4.2 Hasil penjualan listrik per tahun

Tahun ke-	Hasil penjualan listrik (\$)
1	101,756
2	203,512
3	305,268
4	407,024
5	508,78
6	610,536
7	712,292
8	814,048
9	915,804
10	1017,56
11	1119,316
12	1221,072
13	1322,828
14	1424,584
15	1526,34
16	1628,096
17	1729,852
18	1831,608
19	1933,364
20	2035,12
21	2136,876
22	2238,632
23	2340,388
24	2442,144
25	2543,9

Setelah didapat nilai NPC dan pendapatan pada tabel 4.7 dan tabel 4.8, maka dapat dibuat grafik untuk

melihat titik temu antara nilai tersebut seperti pada gambar berikut:



Dari gambar 4.16 dapat dilihat hasil pendapatan yang diperoleh selama kurun waktu 25 tahun dengan biaya COE sebesar \$0,176/kWh, dan nilai NPC atau biaya yang diperlukan selama kurun waktu 25 tahun. Dari kedua garis tersebut dapat dilihat perpotongan antara kedua garis yang merupakan titik balik modal, dimana perpotongan atau titik balik modal terjadi di tahun ke-18.

SIMPULAN

1. Panel Surya menghasilkan energy sebesar 819 kWh per tahun.
2. Energy yang dihasilkan panel surya cukup untuk menyuplai kebutuhan beban yang hanya membutuhkan energy sebesar 411 kWh per tahun
3. Biaya investasi Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) di SMAN 6 Surakarta sebesar \$ 1493 atau Rp 20.868.600
4. Total biaya yang dikeluarkan selama project ini berlangsung (25 tahun) adalah \$ 1813 atau Rp 25.336.675
5. Pemasangan PLTS akan menghemat biaya pengeluaran listrik sebesar Rp 1.422.042 per tahun
6. Project ini akan mengalami balik modal pada tahun ke-18

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Contained Energy Indonesia tim, *Buku Panduan Energi yang Terbarukan*, PNPM Mandiri Kemendagri Indonesia, 2015.
- [2] Prawira, Andre Barry. "Optimasi

Penggunaan Sumber Energi Listrik di Departemen Teknik Elektro Universitas Diponegoro Dengan Menggunakan Perangkat Lunak HOMER". Skripsi, Teknik Elektro,

Universitas Diponegoro, Semarang,
2018

- [3] Bien, L. E., Perancangan Sistem Hibrid Pembangkit Listrik Tenaga Surya dengan Jala-jala Listrik PLN untuk Rumah Perkotaan, Universitas Trisakti, 2008.
- [4] Bachtiar, Muhammad, "Prosedur Perancangan Sistem Pembangkit Listrik Tenaga Surya untuk Perumahan (*Solar Home System*)", SMARTek, vol.4, no.3, pp. 176-182, 2006.
- [5] King, Boyson, & Kratochvil, *Analysis of Factors Influencing The Annual Energy Production of Photovoltaic Systems, IEEE 2002*.
- [6] Kementerian ESDM. "Energi Baru, Terbarukan dan Konservasi Energi". JURNAL ENERGI Media Komunikasi Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral Edisi 2, 2016.
- [7] Bagaskoro, Bimo. "Perancangan dan Analisis Ekonomi Teknik Pembangkit Listrik Tenaga Surya Sistem Off-grid menggunakan Perangkat Lunak Homer di Kawasan Wisata Pantai Pulau Cemara". Skripsi, Teknik Elektro, Universitas Diponegoro, Semarang, 2018
- [8] NASA, 2018. Data Iradiasi dan Suhu Ambien. <https://power.larc.nasa.gov/data-a-access-viewer/>. Diakses 20 Juli 2019