

**Penerapan Teknologi Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS)  
di SMA Negeri 6 Surakarta  
sebagai Sekolah Hemat Energi dan Ramah Lingkungan**

**Dr. Ir. Jaka Windarta, M.T.<sup>1</sup>, Enda Wista Sinuraya, S.T., M.T.<sup>2</sup>,  
Ali Zaenal Abidin<sup>3</sup>, Andalas Era Setyawan<sup>4</sup>, Angghika Kusuma<sup>5</sup>**

<sup>1</sup> Magister Energi, Sekolah Pascasarjana, UNDIP.

<sup>2,3,4,5</sup> Departemen Teknik Elektro, Fakultas Teknik, UNDIP.

*E-mail* korespondensi: jokowind@yahoo.com

**Abstrak**

Indonesia sebagai negara tropis mempunyai potensi energi surya yang tinggi dengan radiasi harian rata-rata (insolasi) sebesar 4,5 kWh/m<sup>2</sup>/hari (Muhammad Bachtiar, 2006). Dengan menggunakan sel surya, sinar matahari dapat dijadikan sumber energi baru terbarukan (EBT). Pemerintah melalui Peraturan Pemerintah (PP) Nomor 79 Tahun 2014 tentang Kebijakan Energi menentukan target bauran EBT pada tahun 2025 sampai 23%. Salah satu fasilitas publik yang dapat dijadikan objek penerapan sumber energi terbarukan adalah Sekolah Menengah Atas Negeri (SMAN) 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 setara 400Wp, dilengkapi dengan *Solar Charger Controller* jenis *Maximum Power Point Tracking* kapasitas 20A, Baterai 2×100Ah, dan *Inverter* berkapasitas 500W. Selain melakukan instalasi teknologi PLTS di SMAN 6 Surakarta, akan dilakukan juga pemberdayaan pegawai sekolah agar dapat mengoperasikan dan merawat PLTS secara swadaya. Ketersediaan sumber energi terbarukan ini diharapkan dapat menjadikan SMAN 6 Surakarta sebagai salah satu sekolah yang menerapkan kebijakan energi sesuai Peraturan Pemerintah Nomor 79 Tahun 2014, serta menjadi percontohan bagi instansi-instansi lainnya baik dalam bidang pendidikan maupun bidang lainnya.

**Kata kunci:** Energi Baru Terbarukan, SMAN 6 Surakarta, PLTS, *Off Grid*

**Abstract**

*Indonesia as a tropical country has high solar energy potential with an average daily radiation (insolation) of 4.5 kWh / m<sup>2</sup> / day (Muhammad Bachtiar, 2006). By using solar cells, sunlight can be used as a new source of renewable energy. 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 500 Wp, equipped with a Solar Charger Controller type Maximum Power Point Tracking 40 A, 2×100 Ah Batteries, and a 500 W Inverter. In addition to installing PLTS technology at SMAN 6 Surakarta, will empowerment of school staff is also carried out so that they can operate and care for solar power plant independently. This renewable energy source is expected to make SMAN 6 Surakarta a school that requires energy policies based on Government Regulation PP No. 79 of 2014, as well as a model for related institutions both in education and other fields.*

**Key words:** Renewable Energy, SMAN 6 Surakarta, Solar Power Plant, *Off Grid*

## PENDAHULUAN

*Paper* dengan judul “Penerapan Teknologi Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) di SMA Negeri 6 Surakarta sebagai Sekolah Hemat Energi dan Ramah Lingkungan” merupakan bukti tertulis dari kegiatan yang diadakan oleh Direktur Riset dan Pengabdian Masyarakat Direktorat Jenderal Penguatan Riset dan Pengembangan Kementerian Riset, Teknologi, dan Pendidikan Tinggi sesuai dengan Kontrak Pelaksanaan Program Pengabdian Masyarakat Nomor : 052/SP2H/PPM/DPRM/2019, tanggal 18 Maret 2019.

### **Analisis Situasi**

Perkembangan sektor pendidikan merupakan bidang yang berperan besar terhadap perkembangan bangsa Indonesia dari segala bidang. Pendidikan yang baik tidak hanya dari segi pelajaran yang ada di mata pelajaran sekolah, namun moral dan pengetahuan yang luas juga sangat diperlukan. Jumlah sekolah di Indonesia terbilang sangat banyak, dan berperan sebagai penghasil penerus bangsa Indonesia dari berbagai bidang. Oleh karena itu, sekolah memegang peran penting dalam kelanjutan bangsa Indonesia. Akan tetapi, pengelolaan terhadap fasilitas pendidikan belum dilaksanakan secara optimal dan merata. Hal ini dibuktikan dengan masih banyaknya daerah-daerah di pelosok Indonesia yang belum memiliki fasilitas pendidikan yang dinilai layak dan belum dikembangkan secara infrastruktur. Bahkan pada beberapa kasus, terdapat sekolah yang belum memiliki kebutuhan listrik dikarenakan infrastruktur yang sulit dibangun di daerah tersebut.

Kondisi tersebut memicu para civitas akademik untuk menunjang perkembangan fasilitas dan infrastruktur untuk bidang pendidikan, khususnya pada bidang energi terbarukan yang hemat energi dan ramah lingkungan. Salah satu sekolah yang berpotensi untuk dijadikan sekolah hemat energi sekaligus percontohan bagi sekolah lainnya adalah SMA Negeri 6 Surakarta. Sekolah ini pernah mencetak sejarah, sebagai SMA penghasil orang nomor satu di Republik Indonesia saat ini yaitu Bapak Presiden Joko Widodo yang merupakan alumni SMA Negeri 6 Surakarta. Dengan kredibilitas yang dimiliki oleh SMA Negeri 6 Surakarta, pemanfaatan energi terbarukan yang hemat energi dan ramah lingkungan ini diharapkan dapat menyebabkan efek domino pada sekolah-sekolah atau instansi lainnya di Indonesia. Meskipun pada SMA Negeri 6 Surakarta ini telah memiliki sumber listrik dari Perusahaan Listrik Negara (PLN), energi listrik pada SMA Negeri 6 Surakarta tidak selalu tersedia. Hal ini disebabkan program *maintenance* atau permasalahan yang sedang dialami oleh PLN sehingga terjadi pemutusan listrik dalam jangka waktu tertentu. Sedangkan SMA Negeri 6 Surakarta belum memiliki *genset* atau sistem *backup* kelistrikan sehingga akan mengganggu kegiatan belajar mengajar, baik dari segi pencahayaan maupun ketika sedang dilakukan ujian berbasis komputer. Oleh karena itu, PLTS dapat dijadikan sistem *backup* SMA Negeri 6 Surakarta, dan mengarah kepada Peraturan Pemerintah (PP) Nomor 79 Tahun 2014 tentang Kebijakan Energi menentukan target bauran EBT pada tahun 2025 sampai 23%<sup>[1]</sup>.

### **Permasalahan Mitra**

SMA Negeri 6 Surakarta merupakan mitra yang bergerak dalam bidang pendidikan, sekolah yang pernah menjadi tempat belajar Presiden Republik Indonesia Bapak Joko Widodo ketika SMA<sup>[2]</sup>. Dengan 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. Selain fasilitas berupa instalasi penerangan, penyediaan air, dan instalasi kelistrikan masih banyak kegiatan yang membutuhkan energi. Seperti aktivitas pada masjid, kantin dan laboratorium, terutama laboratorium komputer yang membutuhkan daya listrik cukup besar, dan juga laboratorium lainnya.

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, mitra 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.

Berdasarkan deskripsi mengenai SMAN 6 Surakarta di atas, maka inti permasalahan yang menjadi penghambat adalah sumber energi listrik yang berasal dari energi fosil suatu saat akan mengalami kelangkaan bahan baku, sehingga biaya yang dibebankan pada pihak sekolah akan semakin mahal. Selain itu alasan penghematan energi dan sistem backup juga menjadi persoalan di SMA Negeri Surakarta. Mengingat sumber keuangan sekolah di Indonesia rata-rata minim, sehingga proses pembelajaran dikhawatirkan akan berjalan tidak optimal.

Selain itu, perlunya peningkatan kesadaran masyarakat akan pentingnya energi terbarukan dan ramah lingkungan juga tidak dapat ditinggalkan. Jika terus bergantung pada energi fosil, maka suatu saat bumi akan kehabisan sumber energi. Oleh karena itu, diperlukan pembelajaran kepada para murid akan pentingnya menjaga lingkungan. Tidak dapat dipungkiri lagi bahwa seluruh murid SMA saat ini, akan menjadi pemimpin dan penerus bangsa di masa yang akan datang. Maka, pembelajaran mengenai teknologi-teknologi berbasis energi terbarukan dan ramah lingkungan ini perlu ditanam kepada murid sedini mungkin.

Sehingga dengan adanya permasalahan-permasalahan tersebut diatas diperlukan suatu solusi atau strategi untuk mengoptimalkan kegiatan belajar mengajar dan menanamkan sifat peduli lingkungan sedini mungkin. Dengan adanya sumber energi listrik berbasis energi terbarukan dan ramah lingkungan diharapkan dapat memacu minat pembelajaran murid. Sumber energi listrik yang dapat diimplementasikan di SMA Negeri 6 Surakarta adalah dengan memanfaatkan energi sinar matahari dengan teknologi Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS). Pemasangan PLTS juga diharapkan dapat menginspirasi masyarakat untuk

menggunakan energi rumah lingkungan baik pada bangunan-bangunan sosial, bisnis, industri, rumah tangga dan lain-lain. Dengan demikian target pemerintah dalam mengganti bahan bakar fosil menjadi bahan bakar yang dapat diperbarui dapat terwujud.

## METODE

Lokasi penelitian adalah SMAN 6 Surakarta. Data yang digunakan untuk merencanakan PLTS diambil dengan cara survei ke lokasi penelitian. Alur metodologi dalam pelaksanaan kegiatan penerapan teknologi PLTS dijelaskan oleh Gambar 1. Metodologi yang dibuat didasarkan pada permasalahan pada bagian pendahuluan.

Metodologi dibuat untuk mengetahui kejelasan alur jalannya kegiatan penerapan PLTS di lokasi penelitian yaitu SMAN 6 Surakarta. Garis besar pelaksanaan penerapan teknologi PLTS adalah adanya perencanaan pembuatan, instalasi, dan sosialisasi.

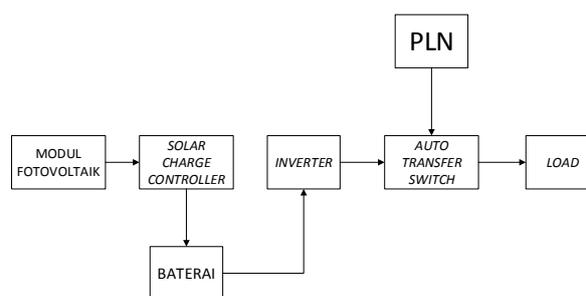


**Gambar 1. Diagram alir penerapan teknologi PLTS di SMAN 6 Surakarta**

Persiapan awal adalah mempersiapkan data yang dibutuhkan untuk memperoleh kapasitas alat sesuai kebutuhan. Persiapan awal dilakukan dengan modal data yang didapat ketika survei ke lokasi penelitian. Identifikasi kebutuhan perancangan adalah pengambilan keputusan jenis dan spesifikasi alat yang dibutuhkan. Instalasi adalah pembuatan *wiring diagram* sistem PLTS yang akan digunakan. Pemberdayaan warga SMAN 6 Surakarta adalah sosialisasi mengenai pengoperasian dan pemeliharaan PLTS. Monitoring dan evaluasi adalah pengecekan kondisi berkala PLTS setelah terpasang.

## HASIL

Hasil dari penerapan teknologi PLTS di SMAN 6 Surakarta di gambarkan dengan gambar desain rangkaian PLTS seperti pada gambar yang tertera pada lampiran. Desain rangkaian ini yang akan dijadikan dasar sebagai pengetahuan warga SMAN 6 Surakarta untuk mengetahui gambaran sistem Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) khususnya untuk yang berbasis *off-grid*. Diagram blok sistem PLTS yang akan diterapkan di SMAN 6 Surakarta adalah seperti pada Gambar 2.



**Gambar 2. Diagram blok sistem PLTS Off-Grid di SMAN 6 Surakarta**

Sistem diawali dengan modul fotovoltaik untuk mengubah energi matahari menjadi energi listrik. Energi listrik kemudian mengalir menuju *solar charge controller* untuk diatur tegangannya sehingga tegangan dari modul fotovoltaik sesuai

dengan tegangan yang dibutuhkan baterai. Energi listrik kemudian mengalir ke baterai untuk disimpan. Energi listrik mengalir dari baterai menuju *inverter* kemudian menuju beban. Energi listrik dari PLN digunakan ketika energi listrik dari baterai sudah tidak dapat menyuplai beban. Perpindahan ini berlangsung secara otomatis.

Secara umum sistem Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) ini menggunakan modul fotovoltaik dengan kapasitas total 400 Wp, *solar charge controller* dengan kapasitas 40 A, baterai dengan kapasitas total 200 Ah, *inverter* dengan kapasitas 500 W, dan beban yang disuplai berjenis resistif dengan kapasitas 230 W.

## PEMBAHASAN

Solusi pada bagian metodologi dapat terlihat melalui tahapan penerapan teknologi sel surya. Tahapan dalam penerapan teknologi sel surya tersebut terdiri dari lima tahap, yaitu persiapan, identifikasi kebutuhan perancangan, instalasi, pemberdayaan perangkat sekolah untuk pengoperasian dan perawatan PLTS di SMAN 6 Surakarta, monitoring dan evaluasi kegiatan.

### Persiapan

Dalam membangun PLTS *off-grid* diperlukan tahapan-tahapan persiapan awal seperti mempersiapkan data-data lapangan dan bahan-bahan yang diperlukan. Data-data yang diperlukan dalam membangun PLTS yaitu :

#### 1. Jumlah Energi Beban

Data ini dapat diperoleh sesuai kondisi beban yang akan disuplai energinya oleh PLTS. Data yang diambil yaitu dengan satuan Watt-hour. Watt yang berarti daya beban dan hour yang berarti jam beroperasinya beban tersebut.

**Tabel 1. Data pembebanan PLTS SMAN 6 Surakarta**

No	Peralatan	Kapasitas (W)	Durasi Pakai (h)	Waktu Pakai	Energi (Wh)	
1	Lampu Teras 1	18	12	Malam Hari	216	
2	Lampu Teras 2	18	12	Malam Hari	216	
3	Lampu Teras 3	18	12	Malam Hari	216	
4	Lampu Parkir A	13	12	Malam Hari	156	
5	Lampu Parkir B	13	12	Malam Hari	156	
6	Lampu Pos Satpam	11	4	Malam Hari	44	
7	Lampu Lobi Emergency 1	34	4	Malam Hari	136	
8	Lampu Lobi Emergency 2	34	4	Malam Hari	136	
9	Lampu Lobi Emergency 3	34	4	Malam Hari	136	
10	Lampu Lobi Emergency 4	34	4	Malam Hari	136	
11	Lampu Penyinaran PLTS	3	12	Malam Hari	36	
<b>Total Watt Lampu</b>					<b>230</b>	
					<b>Total Energi Malam (kWh)</b>	1,584
					<b>Total Energi Siang (kWh)</b>	-

#### 2. Irradiance atau Pemancaran Cahaya Matahari ke Suatu Lokasi

Data ini dapat diperoleh melalui website resmi NASA melalui alamat website <https://power.larc.nasa.gov/data-access-viewer>. Data yang diambil memiliki satuan kWh/m<sup>2</sup>/day. Data yang diperoleh idealnya adalah profil satu tahun yang lalu sesuai dengan dampak dari revolusi matahari.

**Tabel 2. Data irradiance SMAN 6 Surakarta Tahun 2018**

No	Bulan	Tahun	Iradiasi (kWh/m <sup>2</sup> /hari)
1	Januari	2018	10,306
2	Februari	2018	10,239
3	Maret	2018	10,124
4	April	2018	10,053
5	Mei	2018	9,689
6	Juni	2018	9,625
7	Juli	2018	9,132
8	Agustus	2018	9,221
9	September	2018	9,607
10	Oktober	2018	9,768
11	November	2018	10,203
12	Desember	2018	10,253

### 3. Rugi-Rugi Peralatan Utama

Data ini dapat diperoleh dari *datasheet* peralatan. Tujuan dari penentuan rugi-rugi peralatan ini adalah supaya beban yang ditopang oleh PLTS ini dapat terpenuhi kebutuhannya secara optimal.

**Tabel 3. Data rugi-rugi peralatan**

No	Jenis Rugi-Rugi	Nilai Persentase Rugi-Rugi	Keterangan Penggunaan (Siang/Malam)
1	Modul PV	4,7%	Siang
2	<i>Solar Charge Controller</i>	2%	Siang dan Malam
3	Baterai	20%	Siang dan Malam
4	<i>Inverter</i>	11%	Malam
5	Pengkabelan	1%	Siang dan Malam
<b>Total % Rugi-Rugi Malam</b>		34,0%	
<b>Total % Rugi-Rugi Siang</b>		27,7%	

### 4. Tegangan Sistem Direct Current (DC)

Tegangan sistem DC yang dimaksudkan adalah tegangan antara modul fotovoltaik dengan solar charge controller, kemudian solar charge controller dengan baterai, kemudian baterai dengan inverter. Tegangan ini memiliki satuan V. Tegangan yang ditetapkan penulis adalah 45 VDC untuk antara panel surya dengan solar charge controller. Tegangan yang ditetapkan penulis adalah 12 VDC untuk antara solar charge controller dengan baterai dan baterai dengan inverter.

### 5. Tegangan Sistem Alternating Current (AC)

Tegangan sistem AC yang dimaksudkan adalah tegangan antara inverter dengan beban. Tegangan ini memiliki satuan V. Tegangan yang ditetapkan penulis adalah sebesar 220 V sesuai dengan standar tegangan rendah PLN untuk sambungan rumah.

### 6. Kapasitas Peralatan yang Mendukung Berdirinya Sistem

Peralatan yang mendukung berdirinya sistem antara lain adalah :

- 1) Modul Fotovoltaik/Panel Surya;
- 2) *Solar Charge Controller (SCC)*;
- 3) Baterai;
- 4) Inverter;
- 5) Penghantar DC;
- 6) Penghantar AC;
- 7) *Lightning Arrester (LA)*;
- 6) MCB DC;
- 7) MCB AC;
- 8) *Automatic Transfer Switch*;
- 9) Komponen Pentanahan.

Sembilan komponen tersebut dicari dan kemudian ditentukan kapasitas yang sesuai dengan kebutuhan. Berikut

penejelasan bahan-bahan utama yang dipersiapkan dalam membangun PLTS *off-grid*:

#### 1. Modul Fotovoltaik

Modul Fotovoltaik adalah alat yang digunakan untuk menyerap dan mengubah sinar matahari menjadi energi listrik. Sinar matahari terkandung energi dalam bentuk foton. Foton ini mengenai permukaan sel surya, elektron nya akan tereksitasi dan menimbulkan aliran listrik. Peristiwa ini disebut sebagai peristiwa *photovoltaic* atau fotoelektrik.

#### 2. Solar Charge Controller

*Solar charge controller* (SCC) adalah alat yang digunakan untuk mengontrol proses pengisian muatan listrik dari panel surya kedalam baterai (Aki) dan juga pengosongan muatan listrik dari baterai pada beban seperti inverter, lampu, TV dan lain-lain. Pada umumnya terdapat 6 terminal pada sebuah SCC, 2 terminal untuk arus dari panel surya dua terminal untuk menghubungkannya pada aki atau baterai, dan 2 terminal lagi untuk penggunaan beban DC. Dengan adanya *solar charge controller* maka energi listrik yang telah dihasilkan oleh sel surya akan otomatis akan diisikan pada aki dan menjaga aki agar tetap dalam kondisi baik. Kemudian dari SCC juga energi dari sel surya dapat digunakan langsung.

SCC yang akan digunakan adalah tipe Maximum Power Point Tracker (MPPT). *Solar charge controller* MPPT memiliki sistem kerja konversi DC to DC. MPPT mengambil daya maksimum dari modul fotovoltaik.

#### 3. Baterai

Baterai digunakan untuk menyimpan muatan listrik. Jadi, pada saat sel surya mengkonversikan energi cahaya matahari menjadi energi listrik, energi listrik tersebut kemudian disimpan pada baterai yang kemudian akan digunakan.

#### 4. Inverter

Inverter adalah perangkat yang digunakan untuk mengubah arus DC dari sel surya dan baterai menjadi arus AC dengan tegangan 220 Volt yang kemudian akan digunakan pada listrik komersial seperti lampu dan televisi. Alat ini diperlukan PLTS karena menyangkut instalasi kabel yang banyak dan panjang. Apabila beban bukan untuk instalasi rumah, misalnya hanya untuk menghidupkan satu lampu atau alat dengan voltase 12 Volt direct current (VDC) dan tidak menggunakan kabel yang panjang seperti penerangan jalan umum, inverter tidak diperlukan.

### **Identifikasi Kebutuhan Perancangan**

Perancangan PLTS *off-grid* yang akan dibuat di SMAN 6 Surakarta akan menggunakan bahan-bahan yang telah dihitung dan ditentukan dengan rincian :

#### 1. Modul fotovoltaik

Modul fotovoltaik yang dibutuhkan yaitu dengan: 1) Bahan monocrystalline; 2) Kapasitas 150 Wp x 4 buah; 3) Tegangan hubung buka ( $V_{oc}$  atau  $U_{oc}$ ) setelah 2 panel surya = 45,2 V; 4) Tegangan pada daya maksimum ( $V_{mp}$ ) setelah 2 panel surya = 37,4 V; 5) Arus hubung singkat ( $I_{sc}$ ) setelah 2 panel surya = 11,3 A; 6) Arus pada daya maksimum ( $I_{mp}$ ) setelah 2 panel surya = 10,7 A.

Dasar perhitungan penentuan kapasitas modul fotovoltaik adalah sesuai pada referensi<sup>[3]</sup>, secara garis besar penjelasannya adalah sebagai berikut:

A. Hitung kebutuhan energi harian di malam (17:00-05:00) dan siang hari (05:00-17:00)  
Kebutuhan energi harian adalah kebutuhan energi yang digunakan atau biasa diaplikasikan di tempat yang ingin dipasang

modul fotovoltaik. Energi yang dibutuhkan ini memiliki satuan Watt-hour atau biasa disingkat Wh. Watt memiliki arti daya aktif peralatan yang dimaksudkan untuk disuplai modul fotovoltaik. Hour adalah jumlah jam peralatan yang dimaksudkan sebelumnya untuk beroperasi. Data sesuai pada Tabel 1.

B. Periksa iradiasi harian matahari yang tersedia di lokasi.

Iradiasi adalah jumlah tenaga surya tersedia per satuan luas dan terjadi selama periode waktu tertentu. Iradiasi matahari yang dimaksud memiliki satuan Watt-hour/m<sup>2</sup>. Data ini dapat didapat dari situs online NASA. Data lain yang dapat digunakan adalah data yang biasa digunakan oleh pegiat EBT di wilayah yang dimaksud. Bentuk data ideal yang seharusnya didapat adalah berupa data dalam satu tahun periode tahun sebelumnya dengan sub data per bulan. Data yang digunakan untuk Analisa lebih lanjut adalah berupa data rata-rata dan data minimum. Data sesuai pada Tabel 2.

C. Total efisiensi sistem dengan mempertimbangkan rugi-rugi tiap komponen.

Data total efisiensi sistem yang dimaksud adalah terdiri dari data referensi [3]: 1) Rugi-rugi modul fotovoltaik; 2) Rugi-rugi inverter; 3) Rugi-rugi solar charge controller; 4) Rugi-rugi pengkabelan; 5) Rugi-rugi Baterai. Rugi-rugi tersebut yang dimaksud memiliki bentuk persentase (%). Waktu yang digunakan dalam menentukan rugi-rugi seperti siang atau malam juga perlu diperhatikan. Data sesuai pada Tabel 3.

D. Hitung kebutuhan total energi dari modul PV untuk siang dan malam dan kapasitas modul PV.

Total energi modul dapat dihitung dengan menggunakan rumus sebagai berikut:

$$Total\ energi\ modul\ (Wh) = \frac{Energi\ malam\ (Wh)}{100\% - rugi-rugi\ malam\ (\%)} + \frac{Energi\ siang\ (Wh)}{100\% - rugi-rugi\ siang\ (\%)} \quad (1)$$

E. Hitung kapasitas modul PV dan jumlah yang dibutuhkan sesuai dengan daya nominal modul yang tersedia.

Kapasitas modul dapat dihitung dengan menggunakan rumus sebagai berikut:

$$Kapasitas\ Modul\ (Wp) = \frac{Total\ energi\ modul}{Minimum\ rata-rata\ iradiasi} \times G_{STC} \quad (2)$$

Penjelasan :

$G_{STC}$  adalah iradiasi pada saat kondisi uji standar

## 2. Solar Charge Controller

Solar Charge Controller jumlah satu buah dengan: 1)Teknologi MPPT; 2)Voc masukan fotovoltaik maksimum = 100 V; 3)Tegangan nominal baterai = 12 V; 4)Maksimal arus charging baterai = 40 A; 6)Arus masukan maksimum = 40 A; 7)Tegangan pada saat absorption = 14,2 V.

Dasar perhitungan penentuan kapasitas solar charge controller adalah sesuai pada referensi<sup>[3]</sup>, secara garis besar penjelasannya adalah sebagai berikut:

A. Tegangan dan arus masukan (input) maksimum SCC harus lebih tinggi dari tegangan dan arus maksimum larik modul fotovoltaik yang terhubung pada kondisi apapun,

Dengan mempertimbangkan juga koefisien temperatur modul fotovoltaik. Temperatur modul yang kurang dari 25°C akan menaikkan tegangan keluaran modul, sementara temperature yang lebih tinggi akan menaikkan arus keluarannya. Batas aman

(safety margin) sebesar 1,25 untuk arus dan tegangan masukan harus dipertimbangkan.

$$\frac{\text{Tegangan masukan maksimum SCC}}{1,25 U_{OC} \text{ larik modul fotovoltaik}} > \quad (3)$$

$$\frac{\text{Arus masukan maksimum SCC}}{I_{SC} \text{ larik modul fotovoltaik}} > 1,25 \times \quad (4)$$

#### B. Efisiensi > 98%

Efisiensi yang tinggi ( $\geq 98\%$ ) pada tegangan sistem dan dilengkapi dengan MPPT.

#### C. Sesuai dengan teknologi baterai yang terpasang

Sesuai dengan teknologi baterai yang terpasang (misalnya lead-acid, lithium-ion, zinc-air, dll.). Setiap baterai memiliki karakteristik yang berbeda, oleh karena itu perlu konfigurasi yang tepat, terutama di saat merancang dan memasang sistem. Arus keluaran nominal SCC seharusnya tidak lebih tinggi dari arus pengisian yang diperbolehkan baterai yang digunakan. Batas pemutusan (cut-off limit) atau nilai ambang pemutusan tegangan-tinggi dari baterai harus dikonfigurasi secara berbeda untuk setiap teknologi baterai yang berbeda.

$$\frac{\text{Arus pengisian maksimum SCC}}{\text{* ) rating baterai (contoh lead - acid)}} \leq I_{10} \quad (5)$$

$$\frac{\text{Tegangan pada tahap bulk dan absorption}}{\text{tegangan maksimum baterai}} \leq \quad (6)$$

\*) C-rate adalah nilai yang menentukan durasi baterai untuk diisi atau dipakai pada kapasitas penuh. Charging atau discharging rate atau berarti arus yang diperlukan untuk membuat baterai penuh dan habis terpakai waktu 10 jam, misalnya dari baterai 1000 Ah adalah 100 A. Baterai lithium-ion dapat digunakan untuk aplikasi yang membutuhkan arus yang lebih tinggi hingga 1C.

#### 3. Inverter

Inverter jumlah satu buah dengan: 1) Jenis keluaran pure sine wave (PSW); 2) Daya nominal = 500 W; 3) Tegangan DC masukan = 12 V; 4) Frekuensi = 50 Hz; 5) Tegangan keluaran AC 1 Fasa = 220 V. Dasar perhitungan penentuan kapasitas inverter adalah sesuai pada referensi<sup>[3]</sup>, secara garis besar penjelasannya adalah kriteria daya keluaran *inverter*,

Daya keluaran *inverter* jaringan harus berada pada kisaran 0,9 sampai 1,25 kali dari kapasitas terpasang larik modul fotovoltaik yang tersambung. Namun demikian, disarankan untuk menggunakan rasio 1:1 antara kapasitas PV dan daya inverter dalam pengukuran agar tidak terjadi inefisiensi (Masyarakat Energi Jerman (the German Energy Society) (2008). Planning and Installing photovoltaic systems (Edisi kedua). Earthscan.) yang disebabkan oleh ukuran inverter yang terlalu besar.

$$0,9 \times P_{DC} \text{ larik modul surya} \leq P_{AC} \text{ inverter} \leq$$

$$1,25 \times P_{OC} \text{ larik modul surya} \quad (7)$$

Nilai tegangan dan arus harus dipilih berdasarkan tegangan dan arus maksimum dari larik modul fotovoltaik yang tersambung dalam kondisi apapun, dengan mempertimbangkan koefisien temperatur modul fotovoltaik.

#### 4. Baterai

Baterai jumlah dua buah dengan:

- 1) Jenis Lead-Acid;
- 2) Tegangan nominal = 12 V;
- 3) Kapasitas total = 2 Baterai x 100 Ah = 200 Ah;
- 4) Rating C10 = 20 A;

Dasar perhitungan penentuan kapasitas baterai adalah sesuai pada referensi<sup>[3]</sup>, secara garis besar penjelasannya adalah sebagai berikut:

- D. Tetapkan depth of discharge (DoD) yang disyaratkan untuk mencapai usia pakai yang diharapkan sesuai teknologi baterai.  
Diketahui:
- a. Grafik umur pakai dan DoD Lead-acid
  - b. Mencocokkan jumlah siklus dengan nilai DoD sehingga dapat diketahui nilai DoD yang dipersyaratkan.
- E. Kapasitas yang dibutuhkan berdasarkan kebutuhan DoD dan efisiensi baterai.  
Diketahui:
- a. Efisiensi baterai dalam %.
  - b. Menentukan kapasitas yang dibutuhkan.
- A. Energi harian yang dibutuhkan di malam hari. Beban di siang hari harus tercukupi dari modul surya dan sebagian lagi oleh baterai selama terjadi fluktuasi. Beban puncak harus diidentifikasi.  
Diketahui:
- a. Perkiraan energi dalam kWh.
  - b. Perkiraan beban puncak dalam kW.
- B. Energi yang dibutuhkan dengan memperhitungkan hari-hari ketika sistem dapat berjalan tanpa sinar matahari (otonom).  
Diketahui:
- a. Hari otonom yang dibutuhkan dalam hari.
  - b. Energi yang dibutuhkan dengan hari otonom dalam kWh.

Untuk menghitung kapasitas baterai yang dibutuhkan dapat dilihat pada persamaan (10) berikut ini :

$$\text{Kapasitas yang dibutuhkan} = \frac{\text{Energi yang dibutuhkan}}{\text{Efisiensi} \times \text{DoD}} \quad (10)$$

$$\text{Energi yang dibutuhkan} = \text{Energi harian} \times \text{Jumlah hari otonom} \quad (8)$$

- C. Perkiraan usia pakai berdasarkan suhu ruangan, yang diketahui dari data produsen baterai. Menurut hukum Arrhenius, usia pakai baterai berkurang hingga 50% tiap kenaikan suhu sebesar 10°C. Usia pakai 100% umurnya dicapai pada suhu ruangan sebesar 20°C.  
Diketahui:
- a. Suhu ruang untuk menentukan % koreksi.
  - b. Perkiraan usia pakai sesuai lifetime dalam tahun yang diinginkan, sehingga dapat dihitung nilai siklus dengan cara operasi kali antara jumlah hari dalam satu tahun dikali perkiraan tahun lifetime.
  - c. Menentukan siklus yang dipersyaratkan sesuai dengan koreksi suhu. Dengan rumus seperti pada persamaan (9) berikut ini :
5. Komponen Lain
- a. Penghantar DC Modul Fotovoltaik – SCC dengan bahan PV1-F dan luas penampang 1 x 2,5 mm<sup>2</sup> serta panjang total sisi (+) (-) sebesar 12 m.
  - b. Penghantar DC SCC - Baterai dengan bahan tembaga dibungkus PVC dan luas penampang 1 x 10 mm<sup>2</sup> serta panjang sebesar 3 m.
  - c. Penghantar DC Baterai - Inverter dengan bahan tembaga dibungkus PVC dan luas penampang 1 x 1,5 mm<sup>2</sup> serta panjang sebesar 3 m.

$$\text{Siklus Baterai} = \frac{365 \times \text{jumlah tahun perkiraan usia pakai}}{\text{Usia pakai berdasarkan suhu}} \quad (9)$$

- d. Penghantar AC Inverter - Beban dengan jenis NFA2X-T dan luas penampang 2 x 10 mm<sup>2</sup> serta panjang total sebesar 500 m. tidak terhalangi objek (pohon, jemuran, bangunan, dan lain-lain).
- e. Penghantar pentanahan dengan bahan BC cooper dan luas penampang 1 x 35 mm<sup>2</sup> serta panjang total sebesar 10 m.
- f. Ground rod pentanahan sebanyak 2 buah dengan masing-masing panjang 2 meter.
- g. Lightning Arrester atau Surge Protection Device jumlah 1 buah dengan *rating* minimal 54,24 VDC dan 1 buah dengan *rating* minimal 230 VAC.
- h. MCB DC jumlah 2 buah dengan *rating* minimal *rating* sebesar 6,78 A dan 1 buah dengan minimal *rating* sebesar 13,56 A serta 1 buah dengan minimal *rating* sebesar 34 A.
- i. MCB AC jumlah 1 buah dengan *rating* 2 A.
- j. *Automatic transfer switch* jumlah 2 buah.

### **Monitoring dan Evaluasi Kegiatan**

Monitoring pada PLTS setelah terpasang dilakukan secara berkala dengan memperhatikan poin-poin :

- Debu pada permukaan panel surya
  - Tegangan yang dihasilkan dari PLTS
- Jika terjadi kendala-kendala atau masalah, harus dilakukan evaluasi penyebab dari masalah yang terjadi, apakah dari kegagalan panel surya dalam penyerapan radiasi matahari atau dari instalasi listrik yang telah terpasang

### **KESIMPULAN**

Berdasarkan uraian yang sudah dijelaskan sebelumnya, dapat diambil kesimpulan sebagai berikut:

- Pengimplementasian PLTS sebagai sumber energi listrik sangat penting untuk mengurangi ketergantungan terhadap energi fosil.
- Pengimplementasian PLTS dapat mengurangi biaya tagihan listrik tiap bulan, karena beberapa beban disuplai oleh PLTS.
- PLTS dapat digunakan sebagai bahan pembelajaran untuk warga SMA N 6 Surakarta supaya sadar akan pentingnya energi baru terbarukan
- PLTS dapat digunakan sebagai energi cadangan atau *back-up* ketika terjadi pemadaman oleh PLN.

### **Instalasi**

Instalasi PLTS *off-grid* : untuk gambar *wiring* instalasi dapat dilihat pada lampiran, seperti halnya pada subbab hasil.

### **Pemberdayaan Perangkat Sekolah untuk Pengoperasian dan Perawatan PLTS di SMAN 6 Surakarta**

Pada umumnya modul fotovoltaik / panel surya tidak membutuhkan pemeliharaan yang rutin seperti *generator set (genset)*. Genset umumnya diharuskan untuk dihidupkan satu kali seminggu, pemeriksaan oli, dan lain-lain, namun panel surya hanya membutuhkan pembersihan secara berkala untuk tidak mengurangi penyerapan intensitas matahari, serta mengatur letak dari panel surya supaya mendapatkan sinar matahari langsung dan

### **DAFTAR PUSTAKA**

- PP Nomor 79 tahun 2014 tentang Kebijakan Energi Nasional
- Anonimus. *Profil SMA Negeri 6 Surakarta*. <http://sman6surakarta.sch.id>. Diakses: 12 Agustus 2019. Swami, Rashmi. 2012, Solar Cell, *International Journal of Scientific and Research*

*Publications, Volume 2, ISSN 2250-3153.*

3. Ramadhani, Bagus, Instalasi Pembangkit Listrik Tenaga Surya *Dos & Don'ts*, DJ EBTKE KESDM, 2018.

