

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Sistem Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) *Off-Grid*

Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) adalah suatu pembangkit listrik yang menggunakan sinar matahari melalui *solar cell (photovoltaic)* untuk mengkonversikan radiasi sinar foton matahari menjadi energi listrik. *Solar cell* merupakan lapisan-lapisan tipis dari bahan semikonduktor silikon (Si) murni, dan bahan semikonduktor lainnya. PLTS memanfaatkan cahaya matahari untuk menghasilkan listrik DC, yang dapat diubah menjadi listrik AC apabila diperlukan, oleh karena itu meskipun cuaca mendung, selama masih terdapat cahaya, maka PLTS tetap dapat menghasilkan listrik.

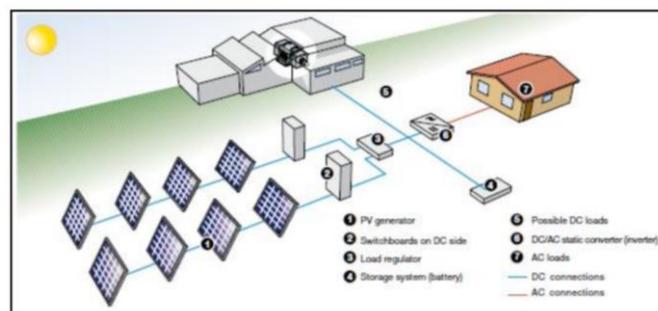
Salah satu sistem Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) adalah Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) *off-grid*. Suatu PLTS *off-grid* yang dikelola secara komunal atau yang sering disebut sistem PLTS berdiri sendiri (*stand-alone*), beroperasi secara independen tanpa terhubung dengan jaringan PLN. Sistem PLTS *off-grid* ini hanya mengandalkan energi matahari sebagai satu-satunya sumber energi utama dengan menggunakan rangkaian *photovoltaic module* untuk menghasilkan energi listrik sesuai kebutuhan. Sistem ini membutuhkan baterai untuk menyimpan energi listrik yang dihasilkan di siang hari untuk memenuhi kebutuhan listrik di malam hari.

Stand-alone PV system atau Sistem Pembangkit Listrik Tenaga Surya Terpusat (PLTS Terpusat) merupakan sistem pembangkit listrik alternatif untuk daerah-daerah terpencil/pedesaan yang tidak terjangkau oleh jaringan PLN.

2.2 Prinsip Kerja PLTS (*Off-Grid*)

Prinsip Kerja Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) *Off-Grid* dapat diuraikan sebagai berikut :

- a. Pada PLTS sistem terpusat ini, sumber energi listrik yang dihasilkan oleh modul surya (PV) pada siang hari akan disimpan dalam baterai. Proses pengisian energi listrik dari PV ke baterai diatur oleh *Solar Charge Controller* (SCC) agar tidak terjadi *over charge*. Bes¹ar energi yang dihasilkan oleh PV sangat tergantung kepada intensitas penyinaran matahari yang diterima oleh PV dan efisiensi *cell*. Intensitas matahari maksimum mencapai 1000 W/m^2 , dengan efisiensi *cell* 14% maka daya yang dapat dihasilkan oleh PV adalah sebesar 140 W/m^2 .
- b. Selanjutnya energi yang tersimpan dalam baterai digunakan untuk menyuplai beban melalui inverter saat dibutuhkan. Inverter mengubah tegangan DC pada sisi baterai menjadi tegangan AC pada sisi beban.



Gambar 2. 1 Prinsip Kerja PLTS (*Off-Grid*)

2.3 Konfigurasi PLTS (*Off-Grid*)

⁴Naim, M. 2017. *Rancangan Sistem Kelistrikan Plts Off Grid 1000 Watt Di Desa Mahalona Kecamatan Towuti*, 9(1), 2-3.

Konfigurasi kerja yang umum diimplementasikan dalam PLTS off-grid ada 2 (dua) sistem yaitu berbasis DC *coupling* dan AC *coupling*. Istilah *coupling* berdasarkan hubungan titik ke titik koneksinya. Umumnya, sistem PLTS *off-grid* terdiri dari dua bagian kelistrikan yang berbeda yaitu sisi arus bolak-balik disingkat a.b.b. (arus AC) dan sisi arus searah disingkat a.s. (arus DC). Ketika sistem PLTS *off-grid* menerapkan penggunaan fungsi cadangan baterai, ada dua titik koneksi yang dapat dibuat dari keluaran array modul surya. *Array* dapat terkoneksi ke sisi AC atau sisi DC dari sistem kelistrikan PLTS.

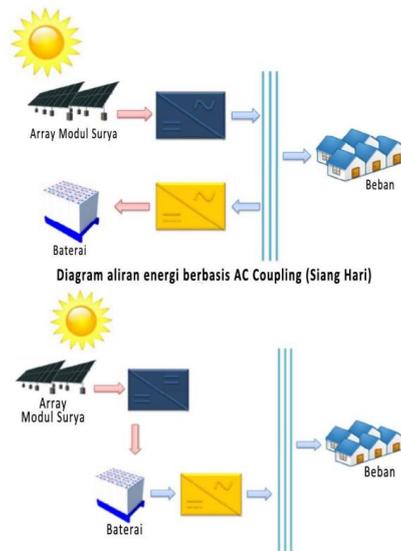
2.4 Pola Operasi PLTS (*Off-Grid*)³

Terdapat 3 (tiga) pola operasi yang umum pada PLTS off-grid, yaitu:

2.4.1 Siang Hari Pada Saat Energi PLTS (*Off-Grid*) Lebih Besar Dari Kebutuhan Beban

Besar energi yang dihasilkan oleh PLTS *off-grid* sangat tergantung kepada intensitas penyinaran matahari yang diterima oleh modul surya dan efisiensinya. Intensitas matahari maksimum mencapai 1000 Watt/m^2 , apabila efisiensi modul surya sebesar 16% maka daya ideal yang dapat dihasilkan oleh modul surya adalah sebesar 160 Watt/m^2 . Diagram aliran energi yang dihasilkan pada siang hari dapat dilihat pada Gambar 1.2.

³ DJ EBTKE. 2017. *Panduan Pengoperasian Dan Pemeliharaan PLTS Off-Grid*.



Gambar 2. 2 Diagram Aliran Energi yang dihasilkan pada Siang Hari

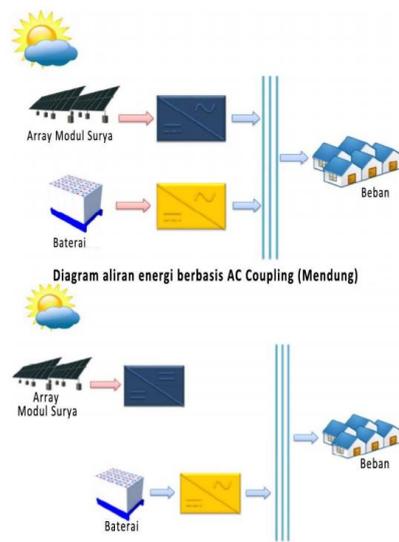
Pada sistem *AC Coupling*, energi yang dihasilkan modul surya pada kondisi tersebut langsung disalurkan ke beban (konsumen) melalui inverter *grid-tied* / *inverter on-grid*, apabila beban sudah tercukupi energi berlebih yang dihasilkan modul surya digunakan untuk pengisian baterai melalui inverter baterai / *inverter bidirectional*.

Pada sistem *DC Coupling*, energi yang dihasilkan modul surya pada kondisi tersebut digunakan untuk mengisi baterai melalui *Solar Charge Controller* (SCC) terlebih dahulu, baru kemudian disalurkan ke beban (konsumen) melalui inverter.

2.4.2 Siang Hari Pada Saat Energi PLTS (*Off-Grid*) Lebih Kecil Dari Kebutuhan Beban

Kondisi ini dapat terjadi apabila :

- Saat kondisi berawan atau mendung.
- Saat sore hari menjelang matahari terbenam PLTS *off-grid* akan menghasilkan energi listrik dari matahari namun tidak maksimal.



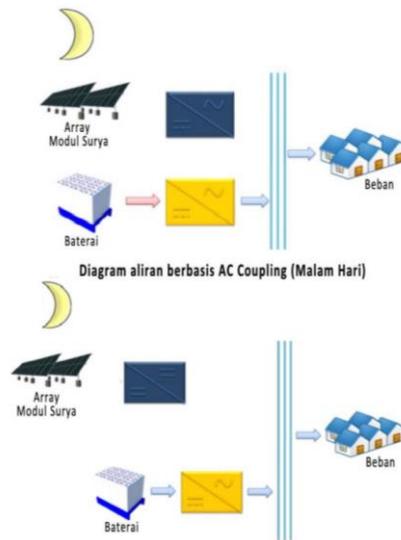
Gambar 2. 3 Diagram Aliran Energi yang dihasilkan pada Kondisi Berawan/Mendung

Pada sistem *AC Coupling*, energi yang dihasilkan modul surya dan energi yang tersimpan dalam baterai disalurkan secara paralel ke beban (konsumen).

Pada sistem *DC Coupling*, energi yang dihasilkan modul surya pada kondisi tersebut digunakan untuk mengisi baterai melalui *Solar Charge Controller* (SCC) terlebih dahulu, baru kemudian disalurkan ke beban (konsumen) melalui inverter.

2.4.3 Malam Hari

Pada malam hari sumber energi matahari tidak dapat dimanfaatkan lagi, oleh karena itu beban akan disuplai oleh baterai. Energi yang tersimpan dalam baterai pada siang hari akan dipergunakan untuk menyuplai beban saat dibutuhkan melalui Inverter. Kemudian Inverter mengubah arus a.s. (DC) pada sisi baterai menjadi arus a.b.b. (AC) ke sisi beban. Diagram aliran energi pada malam hari dapat dilihat pada Gambar 1.4.



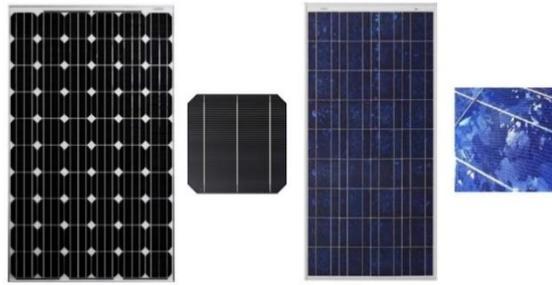
Gambar 2. 4 Diagram Aliran Energi pada Malam Hari

2.5 Komponen Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS)

Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) merupakan suatu kesatuan sistem yang terdiri dari beberapa komponen, baik komponen utama maupun komponen pendukung, diantaranya yaitu:

2.5.1 *Solar cell (Photovoltaic)*

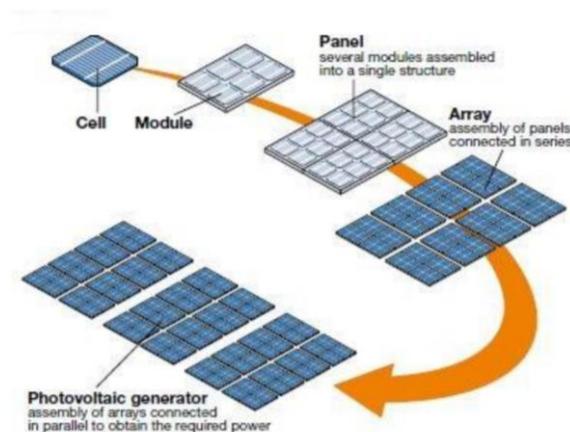
Solar cell atau sel surya adalah alat untuk mengkonversi tenaga matahari menjadi energi listrik. *Photovoltaic* adalah teknologi yang berfungsi untuk mengubah atau mengkonversi radiasi matahari menjadi energi listrik secara langsung. PV biasanya dikemas dalam sebuah unit yang disebut modul. Dalam sebuah modul surya terdiri dari banyak *solar cell* yang bisa disusun secara seri maupun paralel. Sedangkan yang dimaksud dengan surya adalah sebuah elemen semikonduktor yang dapat mengkonversi energi surya menjadi energi listrik atas dasar efek *photovoltaic*.



Gambar 2. 5 Solar cell (Photovoltaic)

2.5.2 Modul Surya

Modul surya atau *Photovoltaic Module* merupakan komponen PLTS yang tersusun dari beberapa *solar cell* yang dirangkai sedemikian rupa, baik dirangkai seri maupun paralel dengan maksud dapat menghasilkan daya listrik tertentu dan disusun pada satu bingkai (*frame*) dan dilaminasi atau diberikan lapisan pelindung. Kemudian susunan dari beberapa modul surya yang terpasang sedemikian rupa pada penyangga disebut array. PV modul yang terangkai seri dari sel-*solar cell* ditujukan untuk meningkatkan, atau dalam hal ini dapat dikatakan menggabungkan tegangan (VDC) yang dihasilkan setiap selnya. Sedangkan untuk arusnya dapat didesain sesuai kebutuhan dengan memperhatikan luas permukaan sel.



Gambar 2. 6 Diagram Hubungan antara Solar cell, Modul, Panel dan Array

2.5.3 Penyangga dan Sistem Pelacak (*Mounting and Tracking Systems*)

Modul surya harus terpasang pada suatu struktur/kerangka, untuk menjaganya tetap terarah pada arah yang tepat, agar lebih tersusun rapi dan terlindungi. Struktur pemasangan modul surya bisa pada struktur yang tetap (*fixed*) atau dengan sistem pelacak sinar matahari, atau biasanya disebut *tracking systems*.

2.5.4 Inverter

Inverter merupakan suatu alat yang berfungsi untuk mengubah arus DC menjadi arus AC. Pada PLTS, inverter berfungsi sebagai pengkondisi tenaga listrik (power condition) dan sistem kontrol yang merubah arus listrik searah (DC) yang dihasilkan oleh solar modul menjadi listrik arus bolak-balik (AC), yang nantinya akan mengontrol kualitas daya listrik yang dikeluarkan untuk dikirim ke beban atau jaringan listrik.



Gambar 2. 7 Inverter

2.5.5 Solar Charge Controller (SCC)¹

¹ Ramdani, Bagus. 2018. *Instalasi Pembangkit Listrik Tenaga Surya Dos & Don'ts*. Jakarta : DJ EBTKE, KESDM. Hal 4-2

Solar Charge Charge Controller adalah komponen di dalam sistem PLTS yang berfungsi sebagai pengatur arus listrik (*current regulator*) baik terhadap arus yang masuk dari panel PV maupun arus beban keluar/digunakan. Berfungsi untuk menjaga baterai dari pengisian yang berlebihan (*over charge*), dan mengatur tegangan serta arus dari panel surya ke baterai.

Fungsi *Solar Charge Controller (SCC)* :

- a. Mengubah arus DC bertegangan tinggi dari laik modul fotovoltaic ke tegangan yang lebih rendah baterai.
- b. Melindungi bank baterai dari pengisian yang berlebih dengan mengurangi arus pengisian dari larik modul fotovoltaic di saat baterai sudah penuh. Tergantung pada teknologi baterai, pengisian baterai yang berlebihan (*overcharge*) dapat menyebabkan timbulnya gas dan ledakan.
- c. Memblokir Arus balik dari bank baterai di saat radiasi sinar matahari tidak mencukupi atau di malam hari
- d. Mengukur dan Memonitor tegangan, arus, dan energi yang di tangkap dari larik modul fotovoltaic dan mengirimkannya ke bank baterai



Gambar 2. 8Solar Charge Controller (SCC)

2.5.6 Baterai

Baterai merupakan salah satu komponen yang digunakan pada sistem PLTS yang dilengkapi dengan penyimpanan cadangan energi listrik. Baterai memiliki

fungsi untuk menyimpan energi listrik yang dihasilkan oleh panel surya dalam bentuk energi arus DC. Energi yang disimpan pada baterai berfungsi sebagai cadangan (*back up*), yang biasanya digunakan pada saat panel surya tidak menghasilkan energi listrik, contohnya pada saat malam hari atau pada saat cuaca mendung, selain itu tegangan keluaran ke sistem cenderung lebih stabil.

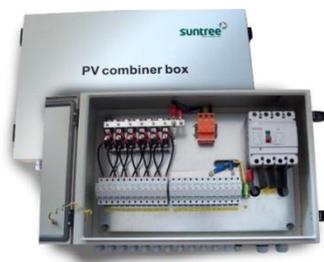


Gambar 2. 9Baterai

2.5.7 Combiner Box

Combiner Box berfungsi sebagai Panel listrik arus searah (DC) yang menggabungkan keluaran dari beberapa string modul surya menjadi satu.

Berfungsi juga sebagai panel isolasi dan proteksi terhadap arus/tegangan lebih dan petir.



Gambar 2. 10 Combiner Box

2.5.8 Sistem Monitoring

Sistem Monitoring Mencatat, merekam, menampilkan dan memonitor data-data parameter serta informasi sistem PLTS.

Sistem monitoring dapat diakses dari jarak jauh melalui jaringan data yang ada. Alat ini lebih sering dikenal sebagai *Remote Monitoring System (RMS)*.



Gambar 2. 11 Sistem Monitoring

2.5.9 Panel Distribusi AC

Panel distribusi tegangan rendah 3 Phasa arus bolak-balik (AC) yang berfungsi menyalurkan daya dari pembangkit ke beban. Panel ini umumnya terdiri dari beberapa *output feeder*.



Gambar 2. 12 Panel Distribusi AC

2.5.10 NODEMCU ESP32

NODEMCU adalah sebuah platform IoT yang bersifat *opensource*. Terdiri dari perangkat keras berupa *system on chip* ESP32, juga *firmware* yang menggunakan bahasa pemrograman *scripting* Lua. Istilah NODEMCU secara

default sebenarnya mengacu pada *firmware* yang digunakan daripada perangkat keras *development kit*.



Gambar 2. 13 NODEMCU ESP32

2.5.11 Automatic Transfer Switch (ATS)

Secara umum fungsi dari ATS adalah untuk menghubungkan beban dengan dua sumber tenaga (sumber utama & sumber cadangan) atau lebih yang terpisah yang bertujuan untuk menjaga ketersediaan dan keandalan aliran daya menuju beban. Secara sederhana fungsi ATS adalah untuk melakukan transfer daya secara otomatis ke beban, dari sebuah sumber utama (jaringan listrik) ke sumber cadangan ketika terjadi gangguan pada sumber utama.



Gambar 2. 14 Automatic Transfer Switch (ATS)

2.5.12 Kabel

Kabel merupakan komponen penghantar yang terisolasi yang berfungsi untuk menghubungkan antara komponen satu dengan yang lainnya pada sebuah rangkaian kelistrikan pada Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS).

