

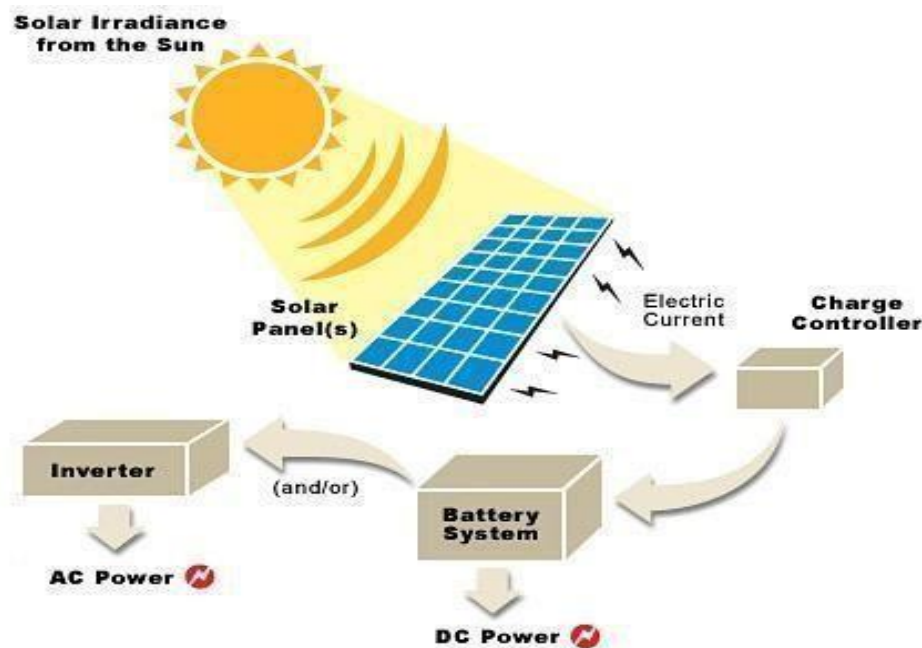
BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

A. Energi Matahari

Matahari memiliki potensi energi yang dapat dimanfaatkan untuk kehidupan manusia setiap hari. Matahari meradiasikan energi dalam bentuk gelombang elektromagnetik dengan spektrum panjang gelombangnya memiliki bentangan antara 250 nm dan 2500 nm (Dr. Ariswan, 2019).

Salah satu piranti yang mengubah energi matahari menjadi energi listrik disebut panel surya. Proses pengolahan energi matahari menjadi energi listrik ditunjukkan pada gambar 2.1.



Gambar 2.1 Proses Konversi Energi Matahari

Proses konversi energi matahari dimulai dengan panel surya yang menyerap sinar matahari dan mengubahnya menjadi arus listrik searah (DC). Arus DC ini kemudian disalurkan ke charge controller yang mengatur dan melindungi baterai dari pengisian berlebih atau pengosongan berlebih. Energi listrik yang diatur oleh charge controller disimpan dalam baterai

untuk digunakan saat sinar matahari tidak tersedia. Selanjutnya, inverter mengubah arus listrik DC dari baterai menjadi arus bolak-balik (AC) yang dapat digunakan oleh peralatan rumah tangga atau disalurkan ke jaringan listrik.

B. Panel Surya

Panel Surya digunakan dalam sebuah bentuk unit yang disebut modul. Dalam sebuah modul sel surya memiliki banyak panel surya yang bisa di susun secara seri atau paralel. Panel Surya terbuat dari bahan semikonduktor yang dapat mengkonversi insolasi matahari menjadi energi listrik dengan dasar efek photovoltaik.

C. Cara Kerja Panel Surya

Panel surya terdiri dari kumpulan sel surya yang ditata sedemikian rupa agar dapat menyerap sinar matahari. Sesuai dengan kapasitas daya yang dibutuhkan. Sel surya terdiri dari berbagai komponen *photovoltaic* atau komponen yang dapat mengubah cahaya menjadi listrik DC. Pada umumnya sel surya terdiri dari lapisan silikon yang bersifat semikonduktor, metal, anti reflektif, dan strip konduktor metal.

Banyaknya sel surya yang disusun untuk menjadi panel surya akan berbanding lurus dengan energi yang dihasilkan. Semakin banyak sel surya yang digunakan, maka semakin banyak pula energi matahari yang dikonversi menjadi energi listrik DC. Jenis sel surya yang umum digunakan, diantaranya adalah *Monocrystalline Silicon PV Module*, *Polycrystalline Silicon PV Module*, *Amorphous Silicon PV Module*, dan *Hybrid Silicon PV Module*.

Prinsip kerja sel surya dimulai dengan partikel kecil yang disebut foton, yaitu partikel dari sinar matahari. Ketika foton bertabrakan dengan atom dalam material semikonduktor sel surya, energi yang dihasilkan cukup

besar untuk melepaskan elektron dari struktur atomnya. Elektron yang bermuatan negatif kemudian bergerak bebas dalam pita konduksi material semikonduktor, sementara atom yang kehilangan elektron membentuk kekosongan yang disebut *hole*, yang bermuatan positif.

Material semikonduktor yang memiliki elektron bebas bersifat negatif dan berfungsi sebagai donor elektron, yang dikenal sebagai semikonduktor tipe N. Sebaliknya, daerah semikonduktor yang mengandung *hole* bertindak sebagai penerima elektron dan disebut semikonduktor tipe P. Ketika kedua area ini bertemu, terbentuklah medan listrik yang mendorong elektron dan *hole* bergerak ke arah yang berlawanan—elektron menjauhi daerah negatif, sementara *hole* bergerak menjauhi daerah positif. Jika sebuah beban, seperti lampu atau perangkat listrik lainnya, dihubungkan ke rangkaian, maka pergerakan elektron akan menghasilkan arus listrik sehingga lampu dapat menyala (Jurusan Teknik Elektro Universitas Muhammadiyah Yogyakarta, 2021).

D. Jenis Panel Surya

Panel surya terbagi menjadi 2 jenis dan kapasitas:

1. Panel surya *monocrystalline* adalah jenis panel surya yang dibuat dari kristal silikon tunggal murni, dikenal dengan efisiensi tinggi dan warna hitam seragam. Tipe panel ini termasuk standar, PERC (*Passivated Emitter and Rear Cell*), dan bifacial, yang mampu menangkap sinar matahari dari kedua sisi. Cara kerjanya melibatkan penyerapan foton dari cahaya matahari yang melepaskan elektron dari atom silikon, menciptakan aliran listrik. Medan listrik internal pada *junction* p-n memisahkan elektron dan *hole*, mengarahkan elektron ke sisi negatif dan *hole* ke sisi positif, menghasilkan arus listrik DC yang dikumpulkan oleh kontak logam. Meskipun panel menghasilkan listrik DC, inverter digunakan untuk mengubahnya menjadi AC yang dapat digunakan oleh peralatan rumah tangga atau

dijual kembali ke jaringan listrik. Panel surya monokristalin semakin populer berkat efisiensi tinggi dan kinerja andal dalam berbagai kondisi cahaya, menjadikannya pilihan menarik untuk solusi energi terbarukan.



Gambar 2.2 Panel Surya *Monocrystalline*

Tabel 2.1 Spesifikasi Panel Surya 100 Wp *Monocrystalline*

| Spesifikasi Panel Surya 100 Wp <i>Monocrystalline</i> | |
|----------------------------------------------------------|------------------|
| Pmax | 100 Wp |
| Vmp | 17.53 V |
| Imp | 5.71 A |
| Voc | 21.25 V |
| Isc | 6.34 A |
| Ukuran (mm) | 540 × 1.200 × 35 |
| Berat (kg) | 8 |

Tabel 2.2 Spesifikasi Panel Surya 150 Wp *Monocrystalline*

| Spesifikasi Panel Surya 150 Wp <i>Monocrystalline</i> | |
|----------------------------------------------------------|--------|
| Pmax | 150 Wp |
| Vmp | 17.5 V |

| | |
|-------------|-----------------|
| Imp | 8.6 A |
| Voc | 21.31 V |
| Isc | 9.34 A |
| Ukuran (mm) | 670 × 1480 × 35 |
| Berat (kg) | 11 |

2. Panel surya *polycrystalline* terbuat dari banyak kristal silikon yang dilebur bersama, menghasilkan tampilan yang bervariasi dengan warna biru yang lebih cerah dibandingkan dengan panel monokristalin. Meskipun efisiensinya sedikit lebih rendah, sekitar 13-16%, panel ini lebih ekonomis untuk diproduksi. Cara kerjanya mirip dengan panel monokristalin: foton dari cahaya matahari mengenai permukaan panel, melepaskan elektron dari atom silikon dan menciptakan aliran listrik. Medan listrik pada junction p-n memisahkan elektron dan hole, mengarahkan elektron ke sisi negatif dan hole ke sisi positif, menghasilkan arus listrik DC yang kemudian dikumpulkan oleh kontak logam. Arus DC ini dapat diubah menjadi AC menggunakan inverter untuk digunakan dalam aplikasi rumah tangga atau dijual kembali ke jaringan listrik. Panel surya polikristalin menjadi pilihan populer untuk proyek skala besar dan instalasi rumah tangga karena keseimbangan antara biaya dan efisiensi. Retakan atau fragmen di dalam sel surya. Efisiensi panel surya *polycrystalline silicon* mencapai 17%. Walaupun efisiensinya lebih rendah dibanding tipe *monocrystalline silicon*, tipe panel surya ini banyak digunakan karena harganya yang relative lebih terjangkau.



Gambar 2.3 Panel Surya *Polycrystalline*

Tabel 2.3 Spesifikasi Panel Surya 100 Wp *Polycrystalline*

| Spesifikasi panel surya 100 Wp <i>Polycrystalline</i> | |
|----------------------------------------------------------|-----------------|
| Pmax | 100 Wp |
| Vmp | 17.53 V |
| Imp | 5.71 A |
| Voc | 21.25 V |
| Isc | 6.03 A |
| Ukuran (mm) | 670 × 1125 × 35 |
| Berat (kg) | 8 |

Tabel 2.4 Spesifikasi Panel Surya 150 Wp *Polycrystalline*

| Spesifikasi panel surya 150 Wp <i>Polycrystalline</i> | |
|----------------------------------------------------------|---------|
| Pmax | 150 Wp |
| Vmp | 17.5 V |
| Imp | 8.6 A |
| Voc | 21.31 V |

| | |
|-------------|-----------------|
| Isc | 9.34 A |
| Ukuran (mm) | 680 × 1480 × 35 |
| Berat (kg) | 11 |

Berikut adalah perbandingan panel surya *monocrystalline* dan *policrystalline*:

Tabel 2.5 Perbandingan Panel Surya *Monocrystalline* Dan *Policrystalline*

| Aspek | Panel Surya <i>Monocrystalline</i> | Panel Surya <i>Policrystalline</i> |
|-----------------------------|-----------------------------------------|---------------------------------------------|
| Material | Silikon kristal tunggal | Banyak kristal silikon |
| Warna | Hitam seragam | Biru cerah dengan tampilan bervariasi |
| Efisiensi | 15-22% | 13-16% |
| Biaya Produksi | Lebih tinggi | Lebih rendah |
| Kinerja dalam Cahaya Rendah | Lebih baik | Kurang baik dibandingkan monokristalin |
| Luas yang Diperlukan | Lebih sedikit (efisiensi lebih tinggi) | Lebih banyak (efisiensi lebih rendah) |
| Umur Pakai | 25-30 tahun | 20-25 tahun |
| Suhu Operasional | Kinerja lebih baik pada suhu tinggi | Lebih sensitif terhadap suhu tinggi |
| Aplikasi | Ideal untuk ruang terbatas dan estetika | Cocok untuk proyek skala besar dan ekonomis |
| Proses Produksi | Lebih kompleks | Lebih sederhana |

Panel surya monokristalin, dengan efisiensi dan estetika yang lebih tinggi, cocok untuk aplikasi di mana ruang terbatas dan kinerja maksimal

diinginkan. Sebaliknya, panel surya polikristalin menawarkan keseimbangan yang baik antara biaya dan kinerja, menjadikannya pilihan yang populer untuk instalasi skala besar dan rumah tangga dengan anggaran lebih terbatas.

E. Komponen PLTS

1. Panel Surya

Panel surya digunakan untuk mengubah insolasi matahari menjadi energi listrik DC dengan menggunakan prinsip *photovoltaic*. Panel surya mempunyai arti karakteristik, yaitu:

- P_{max} artinya maksimum *power point*, yaitu titik dimana daya yang disediakan oleh panel surya berada pada titik maksimum.
- V_{mp} artinya titik operasi, yaitu daya maksimum untuk pengeluaran (output) yang dihasilkan oleh panel surya pada saat beroperasi.
- I_{sc} artinya *short circuit current*, yaitu arus maksimum yang disediakan oleh panel surya, pada saat konektor mengalami sirkuit pendek.
- I_{mp} artinya titik ukur, yaitu pada saat panel surya diberi beban sebesar $25^{\circ}C$ dan insolasi matahari sebesar 1.000 watt per meter persegi.
- V_{oc} artinya *open circuit voltage*, yaitu tegangan maksimum disediakan oleh panel surya, pada saat terminal tidak dihubungkan ke beban (kontak terbuka).

2. Baterai

Baterai adalah komponen untuk menyimpan energi DC yang dihasilkan oleh panel surya. Kapasitas baterai dinyatakan dengan satuan ampere dan jam (Ah), misalnya 100 Ah. Tegangan kerja pada baterai sebesar 6V, 9V, 12V, 24V, dan 48V.

Selain itu, baterai memiliki nilai efisiensi sebesar 85%, dengan umur siklus baterai 80% (*dept of discharge/DOD*), yaitu 1.500 s/d 3.000 siklus pada tahanan internal (arus DC) maksimal sebesar 5 mOhm, dengan mempunyai umur teknis selama 3 tahun.

Tabel 2.6 Spesifikasi Daya Baterai

| Spesifikasi Daya Baterai | |
|----------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Jenis Baterai | 1. <i>Lithium Ion</i> (Li-Ion) 2. <i>Lithium Iron</i> (Li-FeP04) |
| Tegangan nominal | 1. 3.2 - 3.7 V/sel 2. 25.6 - 29.6 V/ 8 sell (tergantung dari jumlah kelipatan sel baterai) |
| Kapasitas nominal (sesuai dengan kebutuhan daya lampu dan cadangan otonom) | 50 Ah - 100 Ah (tegangan minimal 24 Volt) |
| Contoh daya nominal | 1. VAh baterai (25.6 V/50 Ah, 1.280 VAh (1.28 kWh), 8 sel 2. VAh baterai (29.6 V/50 Ah, 1.48 kWh), 8 sell |
| Standar Kualitas | 1. UL/CE atau setara dengan SNI 04-2551.1-2004 2. UL/CE atau setara dengan SNI 04-2051.2-2004 |
| Efisiensi | ≥ 85% |
| Umur siklus baterai (pada 80% <i>dept of discharge/DOD</i>) | 1.500 s/d 3.000 siklus |
| Tahanan internal (arus DC) | Maksimal 5 mOhm |
| Umur teknis | 3 tahun |

Sumber: Peraturan Menteri Perhubungan Republik Indonesia

F. Solar Charge Controller (SCC)

Solar Charge Controller merupakan perangkat elektronik yang berfungsi untuk mengatur aliran arus searah (DC) yang masuk ke baterai saat pengisian serta mengontrol distribusi daya dari baterai ke beban. *Solar Charge Controller* dapat mencegah *overcharging* (pengisian berlebihan) dan *over-discharging* (penggunaan berlebihan) baterai.

Solar Charge Controller disebut teknologi *Pulse Width Modulation* (PWM), untuk mengatur pengisian baterai dan pembebasan arus dari baterai yang menuju ke beban dan memiliki tegangan output sebesar 16 sampai 21 Volt dan memiliki tegangan nominal sebesar 12 Volt (Pae, M. G., 2015).

Pada penjelasan *solar charge controller* diatas, dapat dihitung dengan rumus:

$$V_{\max} \text{ masukan SCC} = 1,25 \times V_{\text{MPP Array}} \quad (2.1)$$

$$I_{\max} \text{ masukan SCC} = 1,25 \times I_{\text{MPP Array}} \quad (2.2)$$

Dimana :

V_{\max} masukan SCC = Tegangan maksimum yang dapat melalui SCC (VDC)

$V_{\text{MPP array}}$ = Tegangan maksimum pada PV array (V)

$I_{\text{MPP array}}$ = Arus maksimum pada PV array (A)

Solar charge controller memiliki satu input dengan dua terminal yang tersambung ke panel surya, serta dua output—satu dengan dua terminal yang menghubungkannya ke baterai, dan satu lagi dengan dua terminal yang terhubung ke beban (*load*).

Solar Charge Controller merupakan komponen pada PLTS yang memiliki fungsi, yaitu (Pae, M. G., 2015):

1. *Operation Mode* yaitu untuk penggunaan baterai menuju ke beban (pengisian baterai menuju ke beban terputus pada saat sudah mulai kosong). *Solar charge controller* dalam *operation mode* berfungsi untuk:

- Mengatur arus pada saat pengisian baterai, menghindari *over charge* dan *over voltage*
 - Mengatur arus yang masuk dari baterai agar baterai tidak *full discharge* dan *over loading*
 - Monitoring temperatur baterai.
2. *Charging Mode* yaitu untuk mengisi baterai (waktu pengisian baterai dan menjaga pengisian pada saat sudah terisi penuh). *Solar charge Controller* dalam *charging mode* yang diisi dengan baterai, dapat dilakukan dengan metode *three stage charge* sebagai berikut (Pae, M. G., 2015):
- *Fase Bulk* yaitu baterai akan di *charge* sesuai dengan tegangan set up antara 14.4 V – 14.6 V dan arus di alirkan secara maksimum dari panel surya. Baterai juga mempunyai tegangan set up (*bulk*) yang disebut dengan *fase absorption*.
 - *Fase Absortion* yaitu fase tegangan baterai akan diseimbangkan, jika tegangan *bulk* sampai *solar charge controller* yang menggunakan *timer* (waktu) sudah mencapai pada arus dan akan alirkan daya penyimpanan dari baterai.
 - *Fase Float* yaitu baterai pada tegangan float setting sebesar 13.4 V – 13.7 V, dihubungkan ke beban dan menuju ke baterai yang menghubungkan arus maksimum dari panel surya.

G. Faktor – Faktor Mempengaruhi Kinerja PLTS

Kapasitas setiap komponen dapat dihitung dengan persamaan – persamaan berikut.

1. Radiasi Matahari

Intensitas cahaya matahari mempengaruhi karakteristik energi yang akan diterima oleh panel surya. Semakin tinggi radiasi matahari maka daya yang dihasilkan panel surya akan meningkat dan begitu sebaliknya

semakin rendah radiasi matahari maka daya yang dihasilkan semakin rendah. Energi listrik yang dihasilkan oleh PLTS sangat bergantung pada radiasi matahari.

2. Temperatur

Kinerja PLTS akan dipengaruhi oleh tingginya suhu sel surya, semakin tinggi suhu sel surya maka energi yang di hasilkan semakin rendah. Setiap peningkatan suhu sebesar 1 °C di atas temperatur standar panel surya menyebabkan penurunan daya keluaran sistem PV sebesar 0,5%. Besarnya pengurangan daya akibat kenaikan suhu pada panel surya dapat dihitung menggunakan persamaan berikut (Zikra Latasya, Ira Devi Sara, Syahrizal, 2019):

$$P_{\text{saat } t \text{ naik } ^\circ\text{C}} = 0,5\% \times P_{\text{Mpp}} \times t \text{ Naik } (^\circ\text{C}) \quad (2.3)$$

Dimana :

$P_{\text{saat } t \text{ naik } ^\circ\text{C}}$ = Daya Pada Saat Temperatur Naik (W)

P_{Mpp} = Daya Keluaran Maksimum Panel Surya (Wp)

$t \text{ naik}$ = Kenaikan Temperatur (°C)

Saat temperatur naik menjadi (°C) maka keluaran daya maksimum panel surya dapat diketahui dengan persamaan berikut (Zikra Latasya, Ira Devi Sara, Syahrizal, 2019):

$$P_{\text{saat } t \text{ naik menjadi } ^\circ\text{C}} = P_{\text{Mpp}} - P_{\text{saat } t \text{ naik } ^\circ\text{C}} \quad (2.4)$$

Dimana :

$P_{\text{saat } t \text{ naik } ^\circ\text{C}}$ = Daya Keluaran Maksimum Panel Surya
Setelah Kenaikan Temperatur (Wp)

P_{Mpp} = Daya Keluaran Maksimum Panel Surya (Wp)

$P_{\text{saat } t \text{ naik } ^\circ\text{C}}$ = Daya Saat Temperatur Naik (W)

Berdasarkan Persamaan Diatas, maka dapat diketahui (TCF) dengan persamaan berikut (Zikra Latasya, Ira Devi Sara, Syahrizal, 2019):

$$TCF = \frac{P_{\text{mpp saat temperatur } t^\circ\text{C}}}{P_{Mpp}} \quad (2.5)$$

Dimana :

TCF = *Temperatur Correction Factor*

$P_{\text{mpp saat temperatur } t^\circ\text{C}}$ = Daya Keluaran Maksimum Panel Surya Setelah Kenaikan Temperatur (Wp)

P_{Mpp} = Daya Keluaran Maksimum Panel Surya (Wp)

H. Kapasitas Setiap Komponen Pembangkit Listrik Tenaga Surya

Perhitungan dan penentuan kapasitas setiap komponen PLTS

1. Menentukan PV Area

Luas PV area merupakan luas area yang dibutuhkan untuk gabungan dari beberapa panel surya pada system PLTS. Besarnya luas dapat dihitung berdasarkan persamaan berikut (Zikra Latasya, Ira Devi Sara, Syahrizal, 2019):

$$PV \text{ Area} = \frac{E_T}{G_{av} \times \eta_{PV} \times TCF \times \eta_{out}} \quad (2.6)$$

Dimana :

PV_{Area} = Luas Permukaan Panel Surya (m^2)

E_l = Besar Pemakaian Energi Listrik (kWh)

| | |
|-------------|------------------------------------------------|
| G_{av} | = Nilai Insolasi Harian Matahari (kWh/m^2) |
| η_{pv} | = Kompensasi Rugi-Rugi Instalasi PV Array (%) |
| TCF | = Temperature Correction Factor |
| η_{ou} | = Efisiensi Output (%) |

2. Menghitung Daya Yang Dibangkitkan PLTS (*Watt Peak*)

Menghitung total daya yang akan dibangkitkan dengan rumus (Roza, E., & Mujirudin, M., 2019):

$$P_{wattpeak} = Area\ array \times PSI \times \eta_{PV} \quad (2.7)$$

Dimana :

| | |
|----------------|------------------------------------------|
| $P_{wattpeak}$ | = Daya Yang Dibangkitkan (Wp) |
| $PV\ Area$ | = Luas Permukaan Panel Surya (m^2) |
| PSI | = <i>Peak Sun Insolation</i> (W/m^2) |
| η_{PV} | = Efisiensi Panel Surya (%) |

3. Menghitung Jumlah Panel Surya

Jumlah panel surya yang dibutuhkan dapat dihitung berdasarkan persamaan berikut (Roza, E., & Mujirudin, M., 2019) :

$$\text{Jumlah Panel Surya} = \frac{P_{wattpeak}}{P_{Mpp}} \quad (2.8)$$

Dimana :

| | |
|----------------|-------------------------------------------|
| $P_{wattpeak}$ | = Daya Yang Dibangkitkan (Wp) |
| P_{MPP} | = Daya Keluaran Maksimum Panel Surya (Wp) |

Rangkaian terdiri dari 12 panel surya yang akan dirangkai secara seri atau parallel. Tegangan saat daya maksimum (V_{Mpp}) sebesar V dan memiliki arus saat daya maksimum (I_{Mpp}) sebesar A. Setiap Panel surya menghasilkan tegangan dan arus yang dapat dihitung berdasarkan persamaan 2.7 dan 2.8:

$$V_{Mpp\ Output} = V_{Mpp} \times \text{Jumlah panel seri} \quad (2.9)$$

Dimana :

$V_{Mpp\ Output}$ = Tegangan Keluaran *Panel* Surya (V)

V_{Mpp} = Tegangan Keluaran Maksimum Panel Surya (V)

Jumlah Panel Seri = Panel Surya Yang Dihubungkan Seri

$$I_{Mpp\ Output} = I_{Mpp} \times \text{Jumlah panel paralel} \quad (2.10)$$

Dimana :

$I_{Mpp\ Output}$ = Arus Keluaran Panel Surya (A)

I_{Mpp} = Arus Keluaran Maksimum Panel Surya (A)

Jumlah Panel Paralel = Panel Surya Yang Dihubungkan Paralel

Dapat diketahui juga daya yang dihasilkan setiap *array* surya Berdasarkan persamaan berikut :

$$P_{Mpp\ Max} = P_{Mpp} \times \text{Jumlah Panel Surya} \quad (2.11)$$

Dimana :

$P_{Mpp\ max}$ = Daya Maksimum Yang Dihasilkan *Panel* Surya (WP)

P_{Mpp} = Daya Keluaran Maksimum Panel Surya (WP)

Jumlah Panel Surya = Total Jumlah Panel Surya

4. Menghitung Kapasitas Solar Charge Controller

Kapasitas SCC yang dibutuhkan dapat dihitung berdasarkan persamaan berikut (Kossi, Vember Restu, 2018):

$$C_{SCC} = \frac{P_{Mpp_Max} \times Safety\ Factor}{V_s} \quad (2.12)$$

Dimana :

C_{SCC} = Kapasitas SCC (A)

P_{Mpp_Max} = Daya yang Dihasilkan *Array* Surya
(Wp)

Safety Factor = Factor Keamanan 1,1

V_s = Tegangan Sistem (V)

5. Menghitung Kapasitas Baterai

Kapasitas baterai yang dibutuhkan untuk menyimpan daya yang dihasilkan oleh susunan panel surya dapat dihitung berdasarkan persamaan berikut (Yasa, M. T., & Sarief, I., 2021):

$$C = \frac{E_T}{V_s} \quad (2.13)$$

Dimana :

C = Kapasitas Baterai Yang Dibutuhkan (Ah)

E_T = Energi Yang Dibutuhkan (kWh)

V_s = Tegangan Sistem (V)

Diketahui spesifikasi dan kapasitas baterai yang dibutuhkan, baterai dihubungkan secara seri dan paralel. Dihubungkan secara seri agar tegangan baterai sesuai dengan tegangan system pada PLTS dan dihubungkan secara paralel agar jumlah baterai yang dibutuhkan dapat menyimpan energi listrik yang dihasilkan oleh panel surya berdasarkan spesifikasi dan kapasitas baterai. Untuk

mengetahui jumlah baterai yang dihubungkan secara seri dan paralel dapat diketahui berdasarkan persamaan berikut (Zikra Latasya, Ira Devi Sara, Syahrizal, 2019):

$$B_{\text{Seri}} = \frac{V_S}{V_B} \quad (2,14)$$

Dimana :

B_{Seri} = Baterai Yang Dihubungkan Seri

V_S = Tegangan Sistem (V)

V_B = Tegangan Baterai (V)

$$B_{\text{pararel}} = \frac{C}{C_B} \quad (2.15)$$

Dimana :

B_{pararel} = Batarei Yang Dihubungkan Pararel

C = Kapasitas Baterai Yang Dibutuhkan (Ah)

C_B = Kapasitas Baterai Yang Digunakan (Ah)

6. Menentukan Kapasitas *Inverter*

Kapasitas *inverter* dapat ditentukan berdasarkan daya yang dibutuhkan beban. Maka nilai kapasitas inverter dapat dihitung :

$$C_{\text{Inverter}} = P_{\text{Total}} \times \text{Safety Factor} \quad (2.16)$$

Dimana :

C_{Inverter} = Nilai Kapasitas Inverter

P_{Total} = Nilai Daya Total

I. MCB

Berdasarkan IEC 441-14-20 dalam PUIL 2011, *Circuit Breaker* (CB) atau pemutus sirkuit adalah perangkat sakelar mekanis yang berfungsi untuk menghubungkan, menghantarkan, dan memutus arus dalam kondisi sirkuit normal. Selain itu, perangkat ini juga mampu menghubungkan, menghantarkan selama periode tertentu, serta memutus arus dalam kondisi sirkuit abnormal yang telah ditentukan, seperti saat terjadi hubungan pendek. Terdapat beberapa jenis *Circuit Breaker* (CB) yang dapat digunakan dalam instalasi listrik gedung, antara lain *Miniature Circuit Breaker* (MCB), *Molded Case Circuit Breaker* (MCCB), dan *Air Circuit Breaker* (ACB).

Menurut PUIL 2011 bagian 433.1, karakteristik operasi perangkat pelindung terhadap beban lebih harus memenuhi dua kondisi berikut:

$$\begin{aligned} I_B &\leq I_n \leq I_z \\ I_2 &\leq 1,45 \times I_z \end{aligned} \quad (2.17)$$

Keterangan:

I_2 = Arus yang menjamin kinerja optimal perangkat proteksi dalam rentang waktu konvensional

I_B = Arus Beban (Ampere)

I_z = KHA Kabel (Ampere)

J. Penghantar

Penghantar listrik atau konduktor dalam aplikasinya pada sistem instalasi listrik berperan sebagai sebuah perangkat yang menyalurkan arus listrik dari suplai menuju beban. Selain daripada itu, penghantar juga difungsikan untuk pengamanan atau penyaluran arus ketika terjadi kebocoran arus pada sistem instalasi listrik. Keberadaannya dibedakan berdasarkan jenis dan nomenklatur kabel, kemudian untuk pemilihan penghantar terdapat beberapa aspek yang diperhatikan yaitu standar

pewarnaan penghantar, kemampuan hantar arus dan susut tegangan pada terminal pelanggan.

KHA adalah kemampuan penghantar listrik dalam menghantarkan arus listrik dalam satuan *ampere* pada selang waktu tertentu tanpa mengakibatkan kerusakan mekanis pada isolasi penghantar. Kemudian berdasarkan pernyataan PUIL 2011 bagian 523.1 menyebutkan bahwa Kemampuan Hantar Arus adalah arus yang dihantarkan oleh setiap konduktor untuk periode berkesinambungan selama operasi normal harus sedemikian sehingga batas suhu yang sesuai yang ditentukan tidak dilampaui.

Hal yang harus diperhatikan dalam pemilihan suatu penghantar adalah pernyataan PUIL 2011 bagian 2.2.8.3 yang menyatakan bahwa:

$$\text{KHA kabel } (I_z) = 125\% \times I_B \quad (2.18)$$

$$I_B \leq I_N \leq I_z \quad (2.19)$$

Keterangan:

I_B = Arus Beban (Ampere)

I_N = Arus Pengenal Pengaman (Ampere)

I_z = KHA Kabel (Ampere)

K. Konduktor Rel

Konduktor rel, atau yang lebih dikenal sebagai busbar, merupakan komponen listrik berbentuk persegi panjang tanpa isolasi yang berfungsi sebagai penghantar arus listrik. Busbar umumnya ditempatkan di dalam panel listrik untuk menampung serta mendistribusikan daya ke berbagai komponen listrik lainnya. Busbar dapat digunakan untuk berbagai keperluan, termasuk fasa, netral, dan pembumian. Untuk membedakan fungsinya, warna busbar mengikuti standar yang tercantum dalam tabel identifikasi warna penghantar. Ketentuan pemasangan konduktor rel dalam Panel Hubung Bagi (PHB) diatur dalam PUIL 2011 pasal 511.6.3, yaitu:

- a. Pada PUIL 2011 511.6.3.1 tertulis bahwa rel yang digunakan pada PHBK harus terbuat dari tembaga atau logam lain yang memenuhi persyaratan sebagai konduktor listrik.
- b. Pada PUIL 2011 511.6.3.2 tertulis bahwa besar arus yang mengalir dalam rel tersebut harus diperhitungkan sesuai kemampuan rel sehingga tidak akan menyebabkan suhu lebih dari 65°C. Pada suhu sekitar 35°C dapat digunakan ukuran rel menurut tabel.
- c. Pada PUIL 2011 511.6.3.3 tertulis bahwa lapisan yang digunakan untuk memberi warna rel dan saluran harus dari jenis yang tahan terhadap kenaikan suhu yang diperbolehkan.

Untuk mengetahui KHA Busbar yang digunakan pada sistem dapat dihitung berdasarkan persamaan berikut:

a. Busbar Pada Sistem DC

Kuat Hantar Arus (KHA) busbar yang digunakan pada sistem DC dapat dihitung berdasarkan persamaan berikut :

$$KHA_{Busbar} = (I_{SCC} \times \text{Jumlah SCC}) \times \text{Safety Factor} \quad (2.20)$$

Dimana :

| | |
|----------------------|------------------------------------------------------------|
| KHA_{Busbar} | = Kuat Hantar Arus Busbar (A) |
| I_{SCC} | = Arus Pada SCC (A) |
| Jumlah SCC | = SCC Yang Digunakan Berdasarkan Jumlah <i>Array</i> Surya |
| <i>Safety Factor</i> | = Faktor Keamanan 1,25 |

b. Busbar Pada Sistem AC

KHA busbar yang digunakan pada sistem AC dapat dihitung berdasarkan persamaan berikut :

$$KHA_{Busbar} = \frac{P_{Inverter}}{V_{AC}} \times \text{Safety Factor} \quad (2.21)$$

Dimana :

| | |
|----------------------|---------------------------------|
| KHA_{Busbar} | = Kuat Hantar Arus Busbar (A) |
| $P_{Inverter}$ | = Daya Pada <i>Inverter</i> (W) |
| V_{AC} | = Tegangan Pada Sistem AC (V) |
| <i>Safety Factor</i> | = Faktor Keamanan 1,25 |

L. Data Beban (Lampu)

PLTS dirancang untuk melayani kebutuhan beban yaitu penerangan lampu jalan dan taman Kampus. Data spesifikasi lampu di tujukan pada Tabel 2.7 (Julianto Kariwangan, 2025).

Tabel 2.7 Spesifikasi Lampu

| NO | Area | Jumlah Lampu | Daya (Watt) | Lumen | Total Daya (Watt) |
|----|---------|--------------|-------------|-------|-------------------|
| 1 | Jalan A | 3 | 20 | 3840 | 60 |
| 2 | Jalan B | 3 | 20 | 3840 | 60 |
| 3 | Jalan C | 7 | 20 | 3840 | 140 |
| 4 | Jalan D | 2 | 120 | 20800 | 240 |
| 5 | Jalan E | 1 | 30 | 4800 | 30 |
| 6 | Jalan F | 4 | 30 | 4800 | 120 |
| 7 | Taman 1 | 9 | 11 | 1156 | 99 |
| 8 | Taman 2 | 4 | 4 | 360 | 16 |
| 9 | Taman 3 | 1 | 3 | 100 | 3 |
| 10 | Taman 4 | 1 | 5 | 558,6 | 5 |
| 11 | Taman 5 | 1 | 4 | 325 | 4 |
| 12 | Taman 6 | 1 | 4 | 325 | 4 |

| | | | | | |
|------------------------------------------------|---------|---|---|-----|------------|
| 13 | Taman 7 | 1 | 3 | 175 | 3 |
| Total Daya Lampu Jalan dan Taman (Watt) | | | | | 784 |

Total kebutuhan energi listrik beban lampu dalam 1 hari dapat dihitung dengan persamaan sebagai berikut :

$$E_T = P \times \text{Waktu Pemakaian} \quad (2.22)$$

Dimana :

- E_T = Total Energi yang dibutuhkan (Wh)
- P = Daya (Watt)
- Waktu Pemakaian = Waktu Pemakaian Energi Listrik Lampu (Jam)