

BAB II

LANDASAN TEORI

2.1 Tinjauan Penelitian Terdahulu

Studi literatur yang penulis lakukan adalah membaca dan memahami penelitian-penelitian yang berkaitan dengan judul skripsi ini. Sebagai rujukan dan pembandingan pada metode yang akan digunakan dengan metode yang telah digunakan oleh peneliti sebelumnya serta hasil yang telah dicapai oleh penelitian.

Quantara dkk, (2018) Pada penelitiannya yang ditulis berjudul “ *The Development of Photovoltaic Power Plant for Electricity Demand Fulfillment in Remote Regional of Madura Island using System Dynamics Model*”. Dalam penelitian ini penulis mengidentifikasi faktor-faktor yang menyebabkan terjadinya kendala penyediaan tenaga listrik di daerah terpencil yang berada dataran tinggi di pulau Madura. Dalam penelitian ini penulis memberikan solusi untuk daerah yang belum teraliri listrik menggunakan *solar home system* (SHS) kapasitas daya panel surya 50WP untuk daerah dataran tinggi dan untuk pesisir serta dataran rendah menggunakan panel surya 100WP.

Syahwil dkk, (2021) Melakukan penelitian yang berjudul “Rancang Bangun Modul Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) Sistem *Off grid* Sebagai Alat Penunjang Praktikum di Laboratorium”. Dalam penelitian tersebut, penulis mendesain dan membangun pembangkit listrik tenaga surya sistem *off grid* menggunakan panel surya 320 WP sebagai penunjang pembelajaran praktikum dan juga penulis menjelaskan komponen-komponen utama dari PLTS serta proteksi

yang ada pada sistem PLTS tersebut. Dalam Penelitian ini dijelaskan juga oleh penulis, beberapa pengujian yang dilakukan dalam modul PLTS yang dirancang. Pengujian itu meliputi pengujian komponen yang di antaranya pengujian karakteristik dari Panel surya , Pengujian *solar charger controller* , pengujian pada baterai untuk proses pengisian dan pengosongan, dan Pengujian pada *Inverter*, serta untuk sistem Proteksi dilakukan pengujian Proteksi Hubung singkat, proteksi beban lebih dan proteksi kesalahan polaritas.

Kurniawan dkk, (2019) Pada penelitiannya yang ditulis berjudul “Analisa Potensi Pembangkit Listrik Tenaga Surya Sebagai Pemanfaatan Lahan Pembangkit Listrik Tenaga Uap Paiton”. Dalam penelitian ini, penulis menggunakan tenaga surya sebagai sumber energi, tenaga surya yang didapatkan akan dikonversi menjadi energi listrik oleh *photovoltaic*. Dalam penelitian ini, penulis menjelaskan terkait konsep detail analisa tentang fotovoltaiik seperti jenis bahan, perhitungan, dan sudut pemasangan fotovoltaiik. Penulis juga menjelaskan secara detail mulai dari analisa energi surya, analisa pergerakan matahari, analisa konversi energi, hingga penggunaan aplikasi *PV-syst* untuk dasar pemilihan dan pemasangan panel surya. Akan tetapi, dalam jurnal tersebut tidak dijelaskan sama sekali terkait jenis PLTS dan komponen-komponen yang digunakan.

Alham dkk, (2021) Melakukan penelitian yang berjudul “Aplikasi *photovoltaic cell* (pv) terhadap Variasi beban elektrik sebagai energi Alternatif”. Dalam penelitian tersebut, penulis membuat pembangkit listrik tenaga surya system *off grid* sebagai energi alternative dan pada PLTS diuji dengan beban yang bervariasi. Pada penelitian ini dilakukan pengujian alat untuk mendapatkan bahwa

PLTS bekerja secara Optimal dalam menyuplai beban, beban yang terpasang diujikan dengan nilai kenaikan daya secara bertahap mulai dari 15 watt sampai 60 watt, ada beberapa parameter yang diukur selama pengujian beban, yaitu tegangan dan arus keluaran dari panel surya serta tegangan dan arus keluaran dari *Inverter*. Pada pengujian dengan beban bervariasi yang dayanya semakin besar pada sistem PLTS terjadi *overload* yang mengakibatkan terjadinya pengaman MCB Trip. Dari hasil penelitian dapat disimpulkan sistem pembangkit tidak dapat dibebani melebihi 75watt karena akan mengakibatkan *overload*, dan juga kondisi komponen dari alat sangat pengaruh terhadap keoptimalan kinerja PLTS, sebagai contoh jika *inverter* dalam kondisi kurang baik maka daya yang keluaran akan menjadi lebih besar sehingga untuk menyaakan beban sebesar 15 watt tidak dapat bertahan lama.

Tabel 2.1 Rangkuman Hasil Penelitian Terdahulu

No	Peneliti	Judul Penelitian	Alat	Hasil
1	Quantara dkk, 2018	" <i>The Development of Photovoltaic Power Plant for Electricity Demand Fulfillment in Remote Regional of Machura Island using System Dynamics Model</i> "	PLTS sistem off grid	<ol style="list-style-type: none"> 1. Solar Home System (SHS) dengan menggunakan panel surya 50 Wp untuk desa yang terletak di dataran tinggi. 2. Fotovoltaik Terpusat (Photovoltaic komunal) dengan menggunakan panel surya 100Wp untuk pesisir dan dataran rendah.
2	Syahwil dkk, 2021	" Rancang Bangun Modul Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) Sistem Off Grid Sebagai Alat Penujangan Praktikum di Laboratorium "	PLTS sistem off grid	<ol style="list-style-type: none"> 1. Mendesain dan membuat Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) Sistem off grid skala kecil dengan kapasitas daya 320Wp. 2. Pengujian PLTS meliputi pengujian Panel Surya untuk mengetahui karakteristik tegangan dan arus. Pengujian solar charge controller. Pengujian tegangan penyambungan beban. Pengujian lama pengisian baterai. Pengujian inverter, apakah alat berfungsi dengan baik mengkonversi tegangan arus searah (dc) menjadi tegangan arus bolak-balik sesuai dengan kapasitas daya inverter. 3. Saran penyempurnaan PLTS perlu dikembangkan sistem monitoring untuk melihat hasil pengukuran secara realtime, sehingga modul ini menjadi lebih modern dan updateable.
3	Kurniawan dkk, 2019	"Analisa Potensi PLTS Sebagai Pemanfaatan Lahan Pembangkit Listrik Tenaga Uap Paton "	Simulasi Pv Syst untuk Desam PLTS	<ol style="list-style-type: none"> 1. Jenis Panel Surya yang akan di gunakan dalam perancangan sistem PLTS ini adalah jenis <i>polycrystalline</i>. 2. Saran pada penelitian ini adalah perancangan sistem PLTS yang lebih optimal dengan menggunakan generator atau dengan sistem penyimpanan serta pengembangan sistem PLTS
4	Alham dkk, 2021	" Aplikasi photovoltaic cell (pv) terhadap Variasi beban elektrik sebagai energi Alternatif "	PLTS sistem off grid	<ol style="list-style-type: none"> 1. Pengaplikasian Panel Surya terhadap variasi beban elektrik sebagai energi alternatif. 2. Menggunakan panel surya berkapasitas 150 Wp jenis Polycrystalline, baterai 12V/38Ah, inverter, dan solar charge control. 3. Pengambilan data ketika cuaca dalam keadaan cerah. Pengambilan data Arus dan Tegangan dengan menggunakan beban lampu 15W, dan 15W+60W. 4. Data penelitian yang diambil berupa data arus, dan tegangan pada pengukuran Ac dan Dc 5. Selain faktor dari kondisi inverter, kapasitas baterai yang digunakan dan Panel Surya juga mempengaruhi sistem yang telah dibuat.

Berdasarkan hasil studi literatur dari penelitian sebelumnya, penulis merangkum hasil dari 4 penelitian sebelumnya yang didapatkan celah penelitian (*research gap*) terkait :

1. Penelitian terkait rancang bangun Pembangkit listrik Tenaga Surya (PLTS) sistem *off grid*, dimana dalam rangkuman penelitian terdahulu dalam pemilihan jenis panel surya menggunakan panel surya jenis Polycrystalline. Dalam penelitaian terdahulu juga dibahas komponen-komponen yang ada dalam PLTS, tetapi dalam penentuan komponennya tidak dibahas secara detail metode dalam pemilihannya.
2. Dalam rangkuman penelitian terdahulu pada tiap komponen dari PLTS *off grid* juga dilakukan pengujian fungsi dan karakteristik parameter yang ada pada komponen dan dalam rangkaian sistem PLTS dari hasil rangkuman penelitian terdahulu dilakukan pengujian terhadap beban dengan nilai beban yang besaran daya nyatanya bervariasi, akan tetapi tidak dilakukan pengujian terhadap karakteristik jenis beban seperti beban bersifat *Resistif*, *Induktif* dan *Capasitif*.
3. Dengan hasil rangkuman diatas penelitian ini menjawab *research gap* tersebut dengan melakukan penelitian rancang bangun PLTS sistem *off grid* dengan analisis pembebanan karakteristik beban yang bersifat *resistif*, *induktif* dan *capasitif* yang di ujikan pada sistem PLTS

2.3 Energi Surya

Matahari merupakan sumber energi utama yang memancarkan energi sangat besar ke permukaan bumi. Pada keadaan cuaca cerah, permukaan bumi menerima sekitar 1 kW energi matahari per-meter persegi. Kurang dari 30% energi tersebut dipantulkan keangkasa, 47% dikonversi menjadi panas, 23% digunakan untuk seluruh sirkulasi kerja yang terdapat diatas permukaan bumi, 0.25% ditampung oleh angin, gelombang, arus, dan sisanya disimpan melalui proses fotosintesis tumbuh-tumbuhan yang pada akhirnya digunakan dalam proses pembentukan bahan bakar fosil (batu bara dan minyak bumi). Sehingga dapat dikatakan bahwa sumber dari segala energi adalah energi surya.

Energi surya merupakan energi yang luar biasa karena tidak menghasilkan polusi dan tidak dapat habis. Energi surya memiliki beberapa kekurangan yakni tidak kontinyu sepanjang waktu dan spesifikasi sel surya yang masih terbatas. Karena kekurangan tersebut, dibutuhkan adanya sistem baterai untuk menyimpan energi surya yang tidak kontinyu dan kolektor energi surya yang memiliki permukaan luas untuk mengkonsentrasikan energi tersebut.

Energi surya merupakan bentuk radiasi elektromagnetik yang dipancarkan ke bumi berupa cahaya matahari yang terdiri dari foton. Energi surya yang sampai di permukaan bumi, disebut dengan radiasi surya. Lamanya intensitas radiasi sinar matahari di Indonesia berlangsung sekitar 4-5 jam/hari. Produksi energi surya pada suatu daerah dapat dihitung dengan persamaan 2.1 (Diantari dkk, 2018) :

$$E = I x A \dots\dots\dots(2.1).$$

dimana,

E = Energi surya yang dihasilkan (W)

I = Intensitas radiasi surya rata-rata yang diterima selama satu jam (W/m^2)

A = Luas Area (m^2)

2.4 Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS)

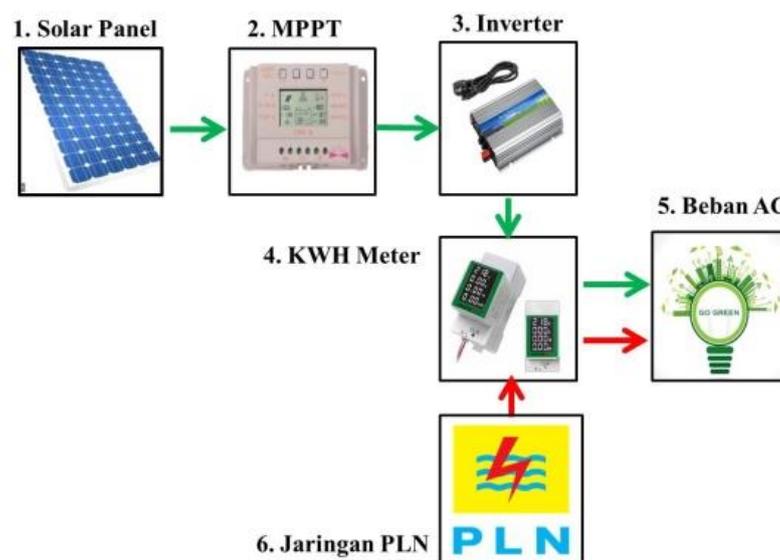
PLTS adalah pembangkit listrik yang menggunakan cahaya matahari dengan mengubah energi radiasi pada matahari menjadi energi listrik. Energi listrik yang dihasilkan dapat digunakan secara langsung atau disimpan terlebih dahulu dalam baterai. PLTS menghasilkan tegangan DC dan dapat diubah menjadi tegangan AC (*Alternating Current*) melalui sebuah *inverter*. (Rumbayan, 2020)

Secara garis besar, PLTS dibagi menjadi 2 jenis yaitu PLTS jenis Terintegrasi atau *On Grid* dan PLTS jenis Independensi atau *Off Grid*.

2.4.1 PLTS *On Grid*

Energi yang dihasilkan oleh Panel Surya diubah menjadi listrik AC, lalu dialirkan ke *AC load*, beban listrik yang dialiri tenaga berupa beban yang ada di rumah atau perkantoran. Yang menjadi ciri-ciri dari sistem PLTS jenis ini adalah dihubungkannya *AC load* ke jaringan distribusi listrik PLN. Keuntungan dari sistem ini adalah sistem PLTS dihubungkan langsung kedalam jaringan distribusi listrik PLN. Untuk kelebihan produksi listrik dapat di ekspor ke jaringan PLN. *Inverter* sangat diperlukan untuk mendeteksi gangguan dan mampu mengontrol tegangan apabila terjadi perubahan tegangan beban dan sumber.

Komponen-komponen kelistrikan *On Grid* terdiri dari Panel surya, *solar control charger*, *inverter*, panel distribusi, MCB, kabel penghantar dan beban. Dalam sistem PLTS *On Grid*, terdapat alat yang dinamakan meter exim. Meter exim berfungsi sebagai penghitung *ekspor-impor* energi listrik. Jadi, meter exim akan menghitung kelebihan produksi listrik dari PLTS yang di ekspor ke sistem distribusi sehingga terdapat pemotongan biaya listrik pengguna listrik PLN. Skema kelistrikan sistem *On Grid* dapat dilihat dalam gambar 2.1



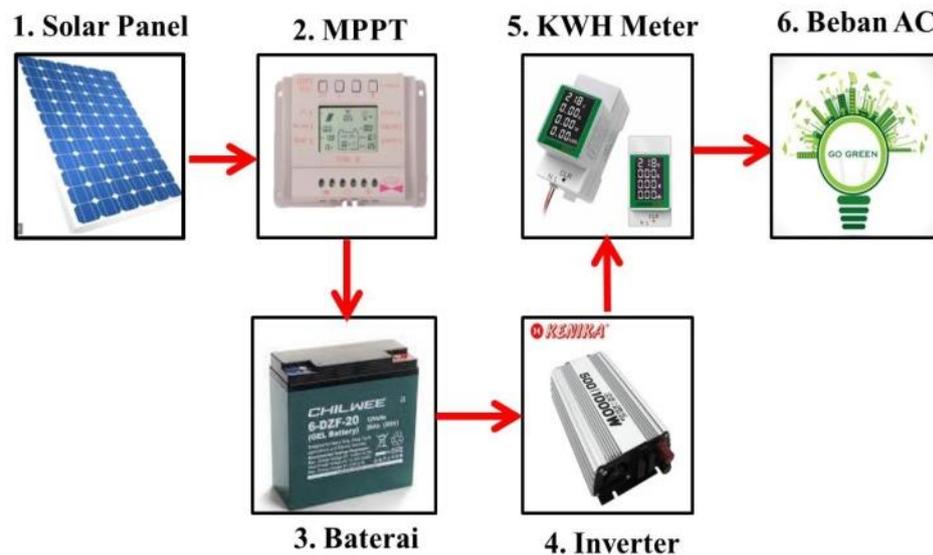
Gambar 2.1 Skema kelistrikan *On Grid*

2.4.2 PLTS *Off Grid*

Off Grid sistem adalah sebuah sistem pembangkit listrik yang bersifat mandiri. Ketika siang hari, sel surya akan menyuplai listrik langsung ke beban. Ketika malam hari, baterai yang telah *dicharge* pada siang hari akan menyuplai listrik ke beban. Keuntungan pada sistem ini adalah sistem PLTS dapat menyuplai listrik setiap waktu karena memiliki baterai

untuk menyimpan daya listrik. Selain itu, sistem ini memiliki rangkaian yang lebih sederhana dan tidak memerlukan ijin khusus dari PLN dalam pemasangannya karena tidak terhubung langsung dengan sistem distribusi listrik dari PLN.

Komponen-komponen kelistrikan *Off Grid* terdiri dari Panel surya, *solar charge*, Baterai, *inverter*, MCB, kabel penghantar, dan beban. Skema kelistrikan *Off Grid* dapat dilihat dalam gambar 2.2



Gambar 2.2 Skema kelistrikan *Off Grid*

2.5 Sel Surya

Sel surya pertama kali ditemukan oleh Edmund Becquerel yang dalam penemuannya menemukan efek *photovoltaic*. Alat semikonduktor yang terdiri dari sebuah wilayah besar dioda p-n junction, dimana dalam hadirnya cahaya matahari mampu menciptakan energi listrik. Dalam proses perubahan energi ini disebut efek photovoltaic (Iskandar dkk, 2018).

2.5.1 Prinsip Kerja Sel Surya

Penjelasan prinsip kerjanya dari sel surya ialah jenis semikonduktor P dan N yang disambung berhimpitan, akan terjadi perpindahan elektron dari semikonduktor jenis N menuju semikonduktor jenis P dan perpindahan hole dari semikonduktor jenis P menuju semikonduktor jenis N. Perpindahan tersebut hanya sampai pada batas jarak tertentu dari sambungan. Elektron dari semikonduktor N bersatu dengan hole pada semikonduktor P yang mengakibatkan jumlah hole semikonduktor P akan berkurang. Daerah ini akhirnya akan bermuatan positif. Pada saat yang sama, hole dari semikonduktor P akan bersatu dengan elektron yang ada di semikonduktor N yang mengakibatkan jumlah elektron di daerah ini berkurang. Daerah ini akhirnya bermuatan negatif. Daerah positif dan negatif ini disebut dengan daerah deplesi. Di daerah tersebut ada perbedaan muatan yang akan menimbulkan medan listrik internal yang mencoba menarik hole ke semikonduktor P dan elektron ke semikonduktor N.

Adanya medan listrik ini mengakibatkan sambungan P-N berada pada titik setimbang yakni jumlah hole yang berpindah dari semikonduktor P ke N dikompensasi dengan jumlah hole yang tertarik kembali ke arah semikonduktor P. Begitu pula dengan elektron yang berpindah dari semikonduktor N ke P dikompensasi dengan mengalirnya elektron kembali ke semikonduktor N. Pada sambungan atau daerah deplesi tadi itulah terjadinya proses konversi cahaya matahari menjadi listrik.

Semikonduktor N pada lapisan atas yang menerima datangnya cahaya matahari dibuat lebih tipis daripada lapisan semikonduktor P agar cahaya dapat terserap masuk hingga daerah deplesi dan semikonduktor P. Ketika sambungan semikonduktor terkena cahaya matahari, maka elektron mendapatkan energi untuk melepaskan dirinya dari semikonduktor N, daerah deplesi, maupun semikonduktor P. Terlepasnya elektron ini meninggalkan hole pada daerah yang ditinggalkan oleh elektron disebut fotogenerasi. Cahaya matahari dengan spektrum yang berbeda membuat fotogenerasi di daerah deplesi. Spektrum merah dari cahaya matahari yang memiliki gelombang lebih panjang, mampu menemus daerah semikonduktor P dan terjadi fotogenerasi disana. Spektrum biru yang panjang gelombangnya jauh lebih pendek mengakibatkan terjadinya fotogenerasi di semikonduktor N. Selanjutnya, karena di daerah deplesi terdapat medan listrik, elektron hasil fotogenerasi tertarik ke arah semikonduktor N begitupula dengan hole tertarik ke arah semikonduktor P. Apabila rangkaian kabel dihubungkan kedua semikonduktor, maka elektron akan mengalir melalui kabel (Rumbayan, 2020).

2.5.2 Struktur Sel Surya

Seiring dengan perkembangan ilmu sains dan teknologi, teknologi panel surya juga ikut berkembang. Struktur dan bagian-bagian sel juga mengalami penyempurnaan. Struktur panel surya komersial yang menggunakan material silikon sebagai berikut.

1. Substrat

Material yang seluruh komponen panel surya dan memiliki konduktivitas listrik yang baik karena struktur ini juga akan berfungsi sebagai kontak termal positif panel surya. Umumnya material yang digunakan adalah metal atau logam seperti aluminium atau *molybdenum*.

2. Material Semikonduktor

Material semikonduktor adalah bagian inti dari panel surya yang mempunyai lapisan tipis dan berfungsi untuk menyerap cahaya dan sinar matahari. Bagian semikonduktor tersebut terdiri dari *junction* atau gabungan dari material semikonduktor tipe (+) dan tipe (-) yang membentuk p-n *junction*. Selain substrat sebagai kontak positif, pada permukaan material semi konduktor biasanya dilapiskan material metal transparan sebagai kontak negative yang disebut dengan *contact grid*.

3. Lapisan Anti Reflektif

Lapisan anti reflektif adalah lapisan tipis material dengan besar indeks refraktif optik antara semikonduktor dan udara yang menyebabkan cahaya belok kearah semikonduktor sehingga meminimumkan cahaya yang dipantulkan kembali. Fungsi dari komponen ini adalah untuk mengoptimalkan cahaya yang terserap oleh semikonduktor.

4. Enkapsulasi

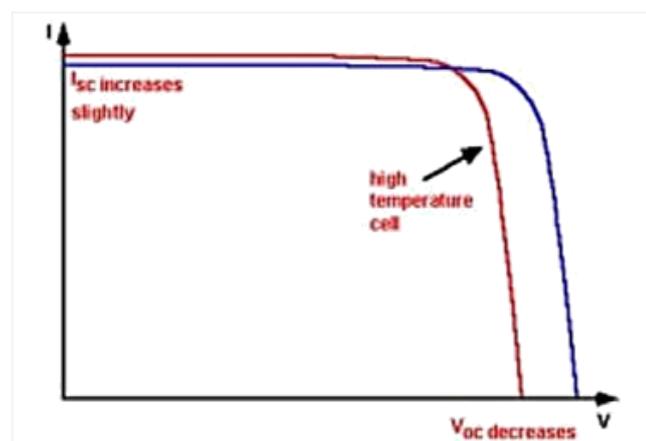
Enkapsulasi merupakan bagian yang berfungsi untuk melindungi modul surya dari hujan atau kotoran. Struktur inilah yang menjadikan panel surya menjadi mudah untuk dibersihkan dan tidak memerlukan perawatan oleh khusus.

2.5.3 Faktor Pengoperasian Sel Surya

Pengoperasian sel surya agar mendapatkan nilai maksimum harus memperhatikan faktor-faktor berikut:

1. Air Temperature

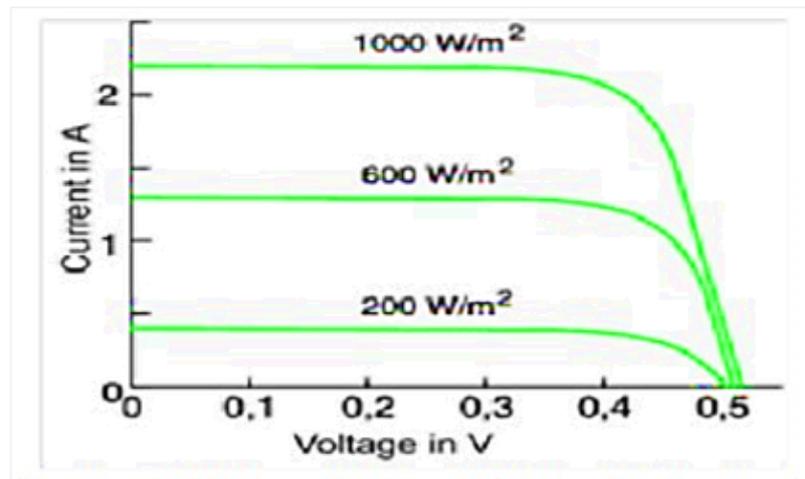
Sebuah selsurya dapat beroperasi dengan maksimum jika temperature sel tetap normal (pada 25 derajat *Celsius*), kenaikan temperature lebih tinggi dari temperature normal pada sel surya akan melemahkan (V_{oc}). Setiap kenaikan temperature sel surya 1 derajat *Celsius* (dari 25 derajat *Celsius*) akan berkurang sekitar 0,4% pada total tenaga yang dihasilkan atau melemah 2x lipat untuk kenaikan temperature sel per 10 derajat *Celsius*.



Gambar 2.3 Pengaruh Temperatur Udara Pada Tegangan
(Duanaputri dkk, 2023)

2. Radiasi Matahari (*Insolation*)

Radiasi matahari di bumi dan berbagai lokasi bervariasi dan sangat tergantung keadaan spektrum solar kebumi. *Insolation* solar matahari akan banyak berpengaruh pada *current* (I) sedikit pada *Volt* (V).



Gambar 2.4 Pengaruh Radiasi Matahari Pada Arus
(Duanaputri dkk, 2023)

3. Kecepatan Angin Bertiup

Kecepatan angin bertiup disekitar lokasi sel surya dapat membantu mendinginkan permukaan temperature kaca-kaca sel surya.

4. Keadaan Atmosfer Bumi

Keadaan atmosfer bumi yang berawan, mendung, jenis partikel debu pada udara, asap, uap air udara, kabut dan polusi sangat menentukan hasil maksimum arus listrik dari deretan sel surya.

5. Orientasi Panel

Orientasi dari rangkaian larik surya ke arah matahari secara optimum adalah penting agar panel deretan sel surya dapat menghasilkan energi

maksimum. Selain arah orientasi, sudut orientasi dari modul surya juga sangat mempengaruhi hasil energi maksimum. Sebagai *guideline*, untuk lokasi yang terletak di belahan utara latitude, maka sel surya sebaiknya diorientasikan ke selatan. Orientasi ke timur atau barat tidak akan mendapatkan energi matahari yang maksimum.

6. Posisi Sel Surya terhadap Matahari

Mempertahankan sinar matahari jatuh ke sebuah permukaan panel surya secara tegak lurus akan mendapatkan energi maksimum kurang lebih 1000 W/m^2 atau 1kW/m^2 .

2.5.4 Jenis Sel Surya

Sel surya terbagi dalam 2 jenis sebagai berikut:

1. Sel Surya *Monocrystalline*

Merupakan panel yang paling efisien yang dihasilkan dengan teknologi terkini & menghasilkan daya listrik persatuan luas yang paling tinggi. Monokristal dirancang untuk penggunaan yang memerlukan konsumsi listrik besar pada tempat-tempat yang beriklim ekstrim dan dengan kondisi alam yang sangat ganas. Memiliki 11 efisiensi sampai dengan 15%. Kelemahan dari panel jenis ini adalah tidak akan berfungsi baik ditempat yang cahaya matahari kurang (teduh), efisiensinya akan turun drastis dalam cuaca berawan (Purwoto dkk, 2020).



Gambar 2.5 Sel Surya *Monocrystalline*
(Kenika.com)

2. Sel Surya *Polycrystalline*

Solar panel *polycrystalline* proses pembuatannya lebih mudah dibanding *monocrystalline*, sehingga harganya lebih murah di pasaran dan sel surya *Polycrystalline* disusun dari peleburan beberapa kristal silikon. Struktur kristal di panel surya monokristal diposisikan sejajar, sedangkan pada panel surya polikristal memiliki struktur kristal tidak sejajar. Solar panel jenis *polycrystalline* dapat menyerap energi dengan baik disaat kondisi mendung atau berawan. Kekurangan solar panel jenis *polycrystalline* adalah efisiensi yang dimiliki rendah, sekitar 13% - 16%. (Fadilla dkk, 2020).

The logo for KENIKA, featuring a red circular icon with a white 'X' inside, followed by the word 'KENIKA' in a bold, red, italicized sans-serif font.

Gambar 2.6 Sel Surya *Polycrystalline*
(kenika.com)

2.5.5 Perhitungan Sel Surya

Berikut adalah parameter untuk menentukan nilai output pada sel surya untuk menentukan hasil efisiensi pada panel surya digunakan perhitungan sebagai berikut. (Pido dkk, 2019)

1. Arus Hubung Singkat

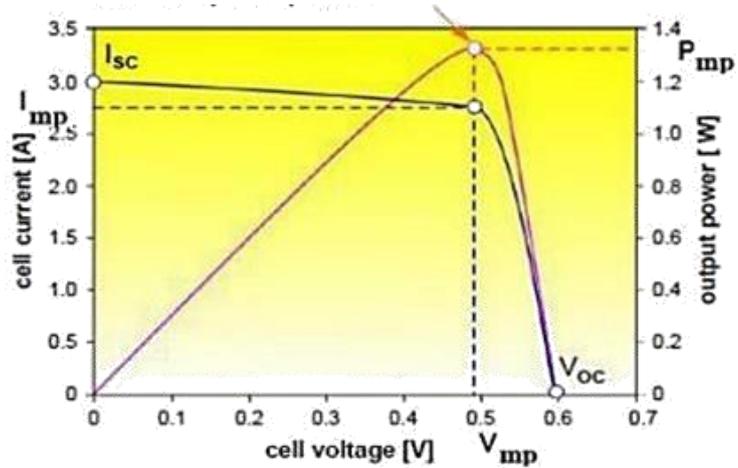
Arus hubung singkat atau *shortcircuit current* (I_{sc}) adalah keluaran maksimum yang diperoleh dari sel surya pada kondisi tidak ada resistansi (R),

2. Tegangan Hubung Terbuka

Tegangan hubung terbuka atau *open circuit voltage* adalah kapasitas tegangan maksimum yang dapat dicapai pada saat tidak adanya arus.

3. Daya maksimum

Daya maksimum (P_{max}) pada gambar 2.5.5, berada pada titik A (V_{max} , I_{max}). Daya maksimum diperoleh dari perkalian antara arus (I_{mp}) dikalikan dengan tegangan (V_{mp}).



Gambar 2.7 Grafik Arus Kuat dan Tegangan Panel Surya (Duanaputri dkk, 2023)

$$P_{max} = V_{mp} \times I_{mp} \dots\dots\dots(2.2).$$

- Keterangan : P_{max} = Daya maksimum keluaran (W)
 V_{mp} = Tegangan maksimum (V)
 I_{mp} = Arus maksimum (A)

4. Faktor Pengisi (FF)

Faktor pengisi adalah ukuran kualitas dari sel Surya dapat diketahui dengan membandingkan daya maksimum teoritis dan daya output pada tegangan rangkaian terbuka dan hubungan pendek. Faktor pengisi yaitu parameter yang menyatakan seberapa besar $I_{sc} \times V_{oc}$ dari daya maksimum $V_m \times I_m$ yang dihasilkan sel Surya.

$$FF = (V_{mp} \times I_{mp}) / V_{oc} \times I_{sc} \dots\dots\dots(2.3).$$

Keterangan : FF = Faktor pengisi

Vmp = Tegangan maksimum (V)

Imp = Arus maksimum (A)

Voc = Rangkaian tegangan terbuka (V)

Isc = Arus hubung singkat (A)

5. Daya Masukan (Pin)

Daya masukan adalah daya yang diperoleh dari perkalian antara intensitas radiasi matahari yang diterima dengan luas area *solar cell* dapat dihitung dengan persamaan 2.4.

$$P_{in} = I_r \times A \dots\dots\dots(2.4).$$

Keterangan : Pin = Daya input akibat radiasi matahari (W)

I_r = Intensitas radiasi matahari (W/m²)

A = Luas area permukaan sel surya (m²)

6. Daya Keluaran (Pout)

Daya keluaran adalah besaran dari hasil perkalian antara tegangan rangkaian terbuka (Voc) dengan arus hubung singkat (Isc) dan faktor pengisi (FF) yang dihasilkan oleh sel surya dapat dihitung dengan persamaan 2.5.

$$P_{out} = V_{oc} \times I_{sc} \times FF \dots\dots\dots(2.5)$$

Keterangan : Pout = Daya output selsurya (W)

Voc = Tegangan rangkaian terbuka (V)

Isc = Arus hubung singkat (A)

FF = Faktor Pengisi

7. Efisiensi Sel Surya

Efisiensi sel surya merupakan ukuran keluaran daya listrik panel surya dibandingkan dengan luas permukaannya. Efisiensi dari *solar cell* dapat dihitung menggunakan persamaan 2.6 (Rumbayan, 2020).

$$\eta = (P_{out}/P_{in}) \times 100\% \dots\dots\dots(2.6).$$

Keterangan : η = Efisiensi panel surya (%)

P_{in} = Daya intensitas matahari (W)

P_{out} = Daya keluaran (W)

Sel surya memiliki banyak aplikasi, sangat cocok digunakan bila tidak tersedia tenaga listrik seperti di wilayah terpencil, satelit pengorbit, kalkulator genggam, pompa air, dll (Iskandar dkk, 2018). Sel surya (dalam bentuk array atau panel surya) juga dapat dipasang di daerah terpencil ataupun daerah yang belum teraliri oleh jaringan dari listrik PLN

Dalam perancangan Pembangkit listrik tenaga surya sistem *off grid* ini digunakan Panel surya berkapasitas 100WP dengan Parameter tegangan max 18 volt dan arus max sebesar 5 ampere jenis *polycrystalline* yang sudah ada di pasaran dan sudah tersertifikasi sehingga memudahkan dalam pemilihan komponen dan *warranty*. Untuk contoh Spesifikasi dari Panel Surya dapat dilihat dari gambar spesifikasi dari panel surya jenis *polycrystalline* digambar 2.8

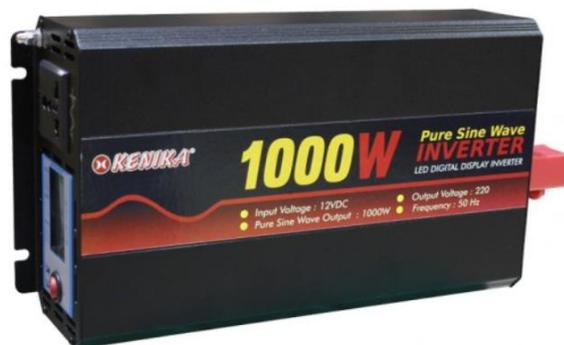
Specifications:		
Model	NPS100W	
Electrical Characteristics		
	STC	NOCT
Maximum Power (Pmax)	100Wp	73Wp
Maximum Power Voltage (Vmpp)	18.0V	16.8V
Maximum Power Current (Impp)	5.56A	4.36A
Open Circuit Voltage (Voc)	22.5V	21.2V
Short Circuit Current (Isc)	6.00A	4.84A
Power Tolerance (Positive)	5%	
Module Efficiency STC	14.35%	
Operating Temperature Range	-40°C to +85°C	
Maximum System Voltage	1000V	
Series Fuse Rating	15A	
Temperature Coefficient of Isc	0.055 %/°C	
Nominal Operating Cell Temperature (NOCT)	45±2°C	
Mechanical Characteristics		
Cell Type	Polycrystalline 156x156 mm	
Cell Number	36 (4x9)	
Dimensions (mm)	670x930x30	
Weight (kg)	13 kg	
Front Glass	3.2 mm, High Transmission, Low Iron, Tempered Glass	
Frame Type	Anodized Aluminium Alloy	
Junction Box Protection Class	IP 67 Rated	
Connector Type	MC4	
Output Cables	Optional	

Gambar 2.8 Spesifikasi Panel Surya
(Kenika.com)

2.6 Inverter

Inverter adalah suatu alat yang dapat digunakan untuk mengubah tegangan masukan DC menjadi tegangan keluaran AC. Keluaran *inverter* dapat berupa tegangan yang dapat diatur dan tegangan yang tetap. Sumber tegangan masukan *inverter* dapat menggunakan baterai, tenaga surya, atau sumber tegangan dc yang lain. Tegangan keluaran yang biasa dihasilkan adalah 120 V, 220 V dan 115 V. Sumber tegangan input *inverter* dapat menggunakan baterai, Panel surya, atau sumber tegangan DC yang lain (Faroda, 2018)

KENIKA®



Gambar 2.9 *Inverter*
(Kenika.com)

2.7 Baterai

Baterai merupakan salah satu peralatan penting pada pembangkit listrik tenaga surya. Baterai mempunyai energi listrik yang diterima saat siang hari dan akan digunakan pada saat malam hari. Baterai memiliki fungsi sebagai penyimpan daya saat ada sinar matahari dan penyedia daya saat tidak ada matahari (Rumbayan, 2022).

Sebuah baterai dapat dibentuk dari sel-sel yang berdiri sendiri yang diletakkan dalam sebuah kotak baterai. Kontak baterai plastik memiliki kontak-kontak dan kawat-kawat yang saling menghubungkan sel-sel listrik didalam baterai.

Baterai dapat diklasifikasikan menjadi 2 tipe yaitu baterai primer dan baterai sekunder. Baterai yang biasa digunakan dalam sistem pembangkit listrik tenaga surya adalah baterai tipe sekunder karena baterai sekunder dapat diisi dan

dikosongkan berulang-ulang. Baterai sekunder terbuat dari timah hitam (Timbel) dan Nikel Cadmium.

Satuan kapasitas baterai adalah Ampere jam (Ah). Kapasitas tersebut tercantum pada spesifikasi baterai. Misalnya spesifikasi baterai dengan kapasitas 100 Ah akan penuh terisi dengan arus 1 ampere selama 100 jam. Pada sebuah baterai juga memiliki angka DOD (*Depth Of Discharge*). Nilai DOD ini mempengaruhi usia pakai sebuah baterai. Jika nilai DOD semakin tinggi maka usia pemakaian baterai semakin pendek dan sebaliknya. Nilai DOD yang disarankan untuk baterai jenis scaled, VRLA, dan AGM adalah sekitar 50% .

Tabel 2.2 Level DOD dan Nilai Tegangan Baterai

(Aji dkk, 2022)

Depth of Discharge Battery		
Level	Type	
	SEALED&VRLA And AGM	WET
	Voltage	Voltage
100%	13,00	12,60
90%	12,75	12,50
80%	12,50	12,42
70%	12,30	12,32
60%	12,15	12,20
50%	12,05	12,06
40%	11,95	11,90
30%	11,81	11,75
20%	11,66	11,58
10%	11,51	11,31
0%	10,50	10,50

Perhitungan Kebutuhan Kapasitas Baterai Untuk menentukan kapasitas baterai yang dibutuhkan pada perancangan ini, dapat menggunakan persamaan tersebut:

$$Ah = \left(\frac{W}{V_{\text{baterai}}} \right) + DOD\% \dots\dots\dots (2.8)$$

- Keterangan: Ah = Kapasitas baterai (Ah)
 W = Jumlah energi yang dibutuhkan beban (W)
 V_{baterai} = Tegangan nominal baterai (V)
 DOD = *Depth Of Discharge* (%)

Dalam perancangan ini digunakan baterai tipe VRLA yang sudah ada di pasaran dan sudah tersertifikasi sehingga memudahkan dalam pemilihan komponen dan *warranty*.



Gambar 2.10 Baterai *Sealed Lead Acid*
 (Kenika.com)

2.8 Kabel Penghantar

Dalam menentukan kabel penghantar pada sistem pembangkit listrik tenaga surya, perlu memperhatikan beberapa hal yakni:

2.8.1 Jenis Kabel

Kabel memiliki beberapa jenis sesuai dengan penggunaannya dalam sistem, beberapa jenis kabel yaitu kabel instalasi dalam gedung untuk beban bertegangan rendah seperti lampu dan peralatan listrik lainnya. Selanjutnya, kabel kontrol digunakan untuk instalasi dalam gedung, switching station, industrial plant dimana resiko kecelakaan mekanismenya kecil. Yang terakhir adalah *power cable* digunakan untuk instalasi dalam gedung maupun dalam tanah. Berdasarkan rate tegangan kerjanya, power cable dibagi menjadi 4 yaitu low voltage (0.6 – 1kV), medium voltage (3.6 – 6kV), high voltage (6 -10kV), extra high voltage (10 – 170kV).

2.8.2 Luas Penampang kabel

Untuk Untuk menentukan penghantar DC yang digunakan dalam PLTS ini diperlukan nilai arus maksimal keluaran panel surya, dihitung dalam persamaan 2.7 (Aji dkk, 2022):

$$I_{max} = I_{sc} \times \text{Jumlah Sting} \dots \dots \dots (2.7)$$

Keterangan : I_{max} = Arus maksimal keluaran panel surya (A)

I_{sc} = Arus hubung singkat (A)

Kemudian tentukan kuat hantar arus kabel dengan persamaan 2.8 (Aji dkk,2022) :

$$KHA = I_{max} \times \text{Faktor koreksi} \dots \dots \dots (2.8)$$

Keterangan :

KHA = Kuat hantar arus kabel (A)

I_{max} = Arus maksimal keluaran panel surya (A)

Faktor Koreksi = 1,25

Untuk menentukan kabel penghantar tegangan AC yang digunakan dalam sistem Pembangkit Listrik Tenaga Surya yang dirancang maka diperlukan nilai arus maksimal keluaran dari *inverter*, untuk arus keluaran dapat dilihat dari spesifikasi pada *inverter* yang digunakan.

Selanjutnya dapat dihitung dalam persamaan 2.9 (Aji dkk, 2022) :

$$KHA = I_{max} \times \text{Faktor koreksi} \dots \dots \dots (2.9)$$

Keterangan :

KHA = Kuat hantar arus kabel (A)

I_{max} = Arus maksimal keluaran panel surya (A)

Faktor Koreksi = 1,25

Dari rumus perhitungan kuat hantar arus kabel yang idapatkan nilai arusnya maka dapat ditentukan diameter penampang kabel dan jenis kabel yang akan digunakan dalam sistem pembangkit listrik tenaga surya yang merujuk berdasarkan tabel 2.3 yang berpedoman pada PUIL 2011.

Tabel 2.3 Spesifikasi Kabel Solar Panel
(PUIL 2011)

Jenis kabel	Luas penampang mm ²	KHA terus menerus					
		Inti tunggal		2-inti		3-inti dan 4-inti	
		di tanah	di udara	di tanah	di udara	di tanah	di udara
1	2	3	4	5	6	7	8
NYY NYBY NYFGbY NYRGbY NYCY NYCWY NYSY NYCEY NYSEY NYHSY NYKY NYKBY NYKFGbY NYKRgBY	1,5	40	26	31	20	26	18,5
	2,5	54	35	41	27	34	25
	4	70	46	54	37	44	34
	6	90	58	68	48	56	43
	10	122	79	92	66	75	60
	16	160	105	121	89	98	80
	25	206	140	153	118	128	106
	35	249	174	187	145	157	131
	50	296	212	222	176	185	159
	70	365	269	272	224	228	202
	95	438	331	328	271	275	244
	120	499	386	375	314	313	282
	150	561	442	419	361	353	324
	185	637	511	475	412	399	371
	240	743	612	550	484	464	436
	300	843	707	525	590	524	481
400	986	859	605	710	600	560	
500	1125	1000	-	-	-	-	



Gambar 2.11 Kabel Penghantar dan konektor MC4
(igreely-us.com)

2.9 Miniature Circuit Breaker (MCB)

Miniature Circuit Breaker (MCB) adalah alat yang digunakan sebagai pengaman peralatan dan pengaman penghantar listrik pada tegangan rendah. Rating MCB yang tersedia dipasaran mulai dari 2A sampai 6A (Majid, 2020). Untuk menentukan rating MCB tidak boleh melebihi Kuat Hantar Arus (KHA) penghantar yang diamankannya. Penggunaan MCB sama seperti fuse sebagai keamanan listrik. Perbedaannya ada pada ketika terjadi beban berlebih atau *short circuit* maka aliran daya akan diputus dan otomatis sekering diganti dengan yang baru, sedangkan MCB bisa diaktifkan lagi.

2.9.1 Perhitungan Rating MCB AC

Rating MCB AC yang dibutuhkan dapat dihitung dengan menggunakan persamaan 2.8:

$$\text{Rating Pengaman} = I_{\text{Nominal beban}} \times 115 \dots\dots\dots(2.8).$$

Keterangan:

Rating Pengaman = Nilai arus pengaman (A)

I Nominal Beban = Nilai arus beban (A)

115% = Faktor pengali

2.9.2 Perhitungan Rating MCB DC

Rating MCB DC yang dibutuhkan dapat dihitung dengan menggunakan persamaan 2.9 :

$$\text{Rating Pengaman} = N_{\text{panel}} \times I_{\text{sc}} \times 125 \% \dots\dots\dots(2.9)$$

Keterangan:

Rating Pengaman = Nilai arus pengaman (A)

N panel	= Jumlah modul fotovoltaik
Isc	= Nilai arus <i>short circuit</i> modul PV (A)
115%	= Faktor pengali



Gambar 2.12 Pengaman MCB Arus AC dan DC
(Schneider_electric.com)

2.10 Modul PLTS Pembelajaran

Modul pembelajaran merupakan bentuk media pembelajaran yang dapat digunakan sebagai media praktikum. Media pembelajaran memiliki fungsi sebagai alat bantu untuk menyampaikan informasi kepada praktikan, alat bantu yang dimaksud adalah alat peraga atau modul pembelajaran alat (Khaffi dkk, 2020). Dalam penelitian ini sistem Pembangkit Listrik Tenaga Surya yang di desain berupa Alat yang portable dan mudah untuk dipindahkan yang dimana akan memudahkan dalam penggunaannya.



Gambar 2.13 Modul PLTS

(Khaffi dkk, 2020)

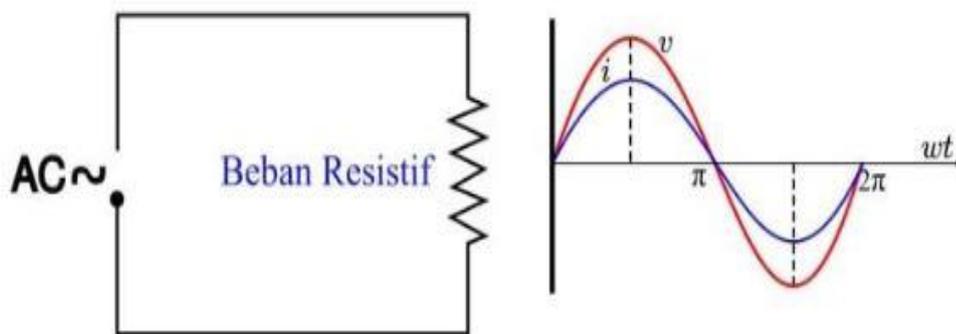
2.11 Beban Listrik

Beban listrik adalah suatu alat atau beban yang dapat bekerja atau berfungsi apabila dialiri arus listrik yang berpotensi (dapat bekerja dengan memanfaatkan energi listrik) contoh: lampu, alat-alat rumah tangga, alat-alat elektronik, selain itu alat-alat yang digunakan untuk merubah energi listrik mejadi lain misal gerak dan panas, dan lain sebagainya. Berdasarkan sifat suatu beban listrik dapat dibedakan menjadi 3 yaitu:

2.11.1 Resistif

Beban yang memiliki sifat *resistif* (resistor) adalah beban yang berasal dari suatu komponen tahanan murni dengan simbol (R), dan memiliki satuan ohm (Ω) akan memiliki sifat yang sama dengan resistor (R).

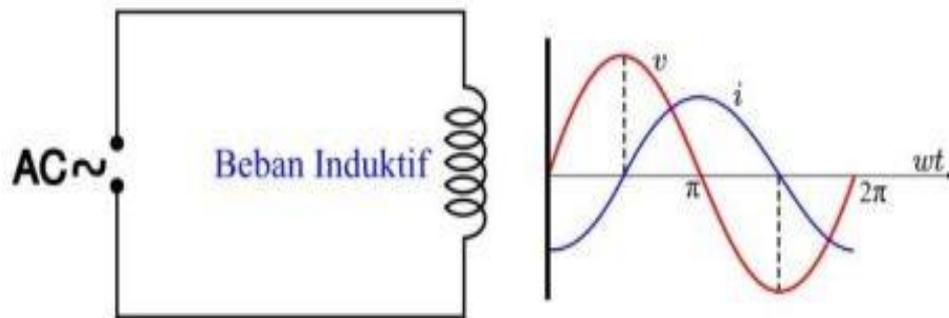
Apabila beban tersebut dialiri arus listrik maka arus listrik yang mengalir melalui beban tersebut adalah arus nominal pada beban dan memiliki nilai yang tetap sehingga tidak diaktifkan. Contoh beban-beban listrik yang bersifat resistif adalah lampu pijar (penerang), setrika, teko listrik, dan alat-alat rumah tangga yang bersifat pemanas lainnya



Gambar 2.14 Beban Resistif
(Lisiani dkk, 2019)

2.11.2 Induktif

Beban yang bersifat *induktif* (induktor) adalah beban yang berasal dari suatu penghantar untuk menghasilkan medan magnet yang digunakan untuk mengubah energi mekanik menjadi energi listrik ataupun sebaliknya, menaikkan atau menurunkan tegangan listrik dan memiliki simbol (L) dengan satuan *Henry*. Arus listrik yang mengalir melalui beban tersebut akan disimpan dalam bentuk medan magnet sehingga dapat tersimpan. Contoh beban listrik yang bersifat *induktif* adalah pompa air, blender, kipas angin dan alat-alat yang memanfaatkan energi listrik untuk menghasilkan energi gerak sebagai penggerak beban utama.

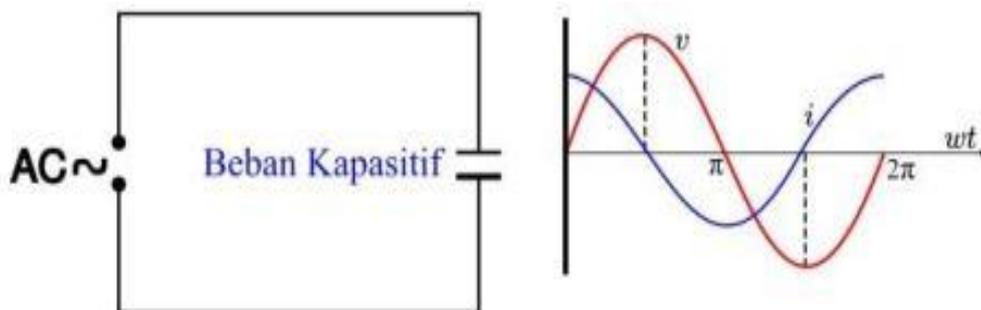


Gambar 2.15 Beban Induktif

(Lisiani dkk, 2019)

2.11.3 *Capasitif*

Beban yang bersifat *capasitif* (kapasitor) adalah beban yang berasal dari dua penghantar (konduktor) yang terpisah dengan polaritas yang berbeda pada penghantarnya. Beban kapasitif ini berfungsi sebagai penyimpan muatan listrik. dan memiliki simbol (C) dengan satuan *farad*. Pada industri-industri besar yang menggunakan penggerak berupa motor listrik memerlukan kapasitor untuk menghemat daya



Gambar 2.16 Beban Capasitif

(Lisiani dkk, 2019)

2.12 Maximum Power Point Tracking (MPPT)

Maximum Power Point Tracking (MPPT) adalah salah satu jenis sistem *solar charger controller*, dimana MPPT dapat menyesuaikan secara otomatis

tegangan kerja dari panel surya yang dapat membuat panel surya bekerja secara konsisten, mengoptimalkan daya dan meminimalkan osilasi daya keluaran pada panel surya. Dibandingkan dengan kontroler panel surya pada umumnya, MPPT dilengkapi dengan kompensasi suhu, dapat membuat efisiensi kerja dari modul fotovoltaik meningkat sebesar 30%.

KENIKA®



Gambar 2.17 MPPT
(Kenika.com)