

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Penelitian Terkait

Penelitian yang berjudul “Analisa Sistem Pompa Pada Stasiun Pengisian Bahan Bakar Umum (SPBU)” dalam penelitiannya membahas tentang pompa yang digunakan pada SPBU dan merancang pompa dengan daya motor yang sama yang menghasilkan perancangan dengan menambah head pompa menjadi 50 m yang awalnya 30 m [5].

Penelitian yang berjudul “Perencanaan Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) Terpadu Menggunakan Software PVSYST Pada Komplek Perumahan di Banda Aceh” dalam penelitiannya membahas tentang perencanaan PLTS menggunakan software PVsyst pada komplek perumahan di Banda Aceh yang menghasilkan rancangan PLTS dengan kebutuhan daya per hari sebesar 26.927Wh dibutuhkan 60 modul surya dan 30 unit baterai dengan total kapasitas 1500 Ah, BCR berkapasitas 500 A dan inverter berkapasitas 12 Kw [6].

Kemudian penelitian yang berjudul “*Techno-economic Analysis of Using Solar Energy, Diesel and Electrical Networks for Water Pumping in The West Bank*” dalam penelitiannya yaitu menganalisa ekonomi penggunaan PATS di *West Bank*, Palestina untuk menggantikan 6 unit PATD digunakan untuk keperluan air bersih dan kebutuhan air untuk pertanian yang hidup selama 24 jam. Sehingga tujuan penelitian ini menganalisa dari aspek ekonomi PATS dengan 3 konfigurasi yaitu PATS menggunakan arus AC dengan media penyimpanan baterai, PATS AC dengan media penyimpanan tangki air dan PATS DC dengan penyimpanan tangki air [7].

Penelitian yang berjudul “Pembangkit Listrik Energi Matahari Sebagai Penggerak Pompa Air Dengan Menggunakan *Solar Cell*” yang membahas tentang penggunaan *solar cell* berjenis polikristal dengan daya 50Wp. Pada distribusi arus dan tegangan dari sumber *solar cell*, walaupun tegangan yang dihasilkan oleh *solar cell* $\pm 17,2V$, tetapi pendistribusiannya untuk mengisi baterai

sangat stabil dengan maksimum rata-rata 13,5V dikarenakan distribusi pengisian diatur oleh *solar charger controller* [8].

Penelitian yang berjudul “ Perancangan Dan Analisa Ekonomi Pompa Air Tenaga Surya Untuk Irigasi Sawah Pada Kelompok Tani Al-Hidayah Di Desa Muara Uwai - Kabupaten Kampar” yang membahas tentang perancangan PATS untuk irigasi sawah yang ada di Desa Muara Uwai - Kabupaten Kampar yang sebelumnya petani di desa tersebut menggunakan PATD untuk irigasi seluas 26 Ha. Ada 2 konfigurasi yang dirancang yakni konfigurasi pompa DC media penyimpanan baterai dan konfigurasi pompa DC tanpa baterai. Pemilihan pompa yang akan digunakan, dan perancangannya PLTS dari segi kemiringan hingga perkiraan arus DC pada beban maksimum telah dibahas dalam penelitian ini [9].

Berdasarkan penelitian terdahulu terdapat beberapa kekurangan dan kelebihan. Oleh karena itu penulis akan menggabungkan beberapa metode terbaik dengan menyesuaikan permasalahan yang ada pada lokasi penelitian. Perancangan PLTS yang akan dilakukan disesuaikan dengan seluruh beban pompa yang ada di SPBU Arifin Ahmad dengan sistem *on-grid* menggunakan *Grid Tie Inverter* (GTI) agar listrik yang dihasilkan oleh panel surya dapat langsung disalurkan ke beban melalui meteran dua arah yang juga dapat dijadikan sebagai media penyimpanan listrik. Desain PLTS menggunakan *software* Sketchup 2015 yang nantinya akan mempermudah dalam merealisasikan rancangan tersebut. Pada analisa ekonomi akan dihitung biaya keseluruhan sistem, dan mengetahui tahun pengembalian modal investasi dengan indikator aspek ekonomi yang dikaji meliputi LCC (*Life Cycle Cost*) dan NPV (*Net Present Value*) dan PBP (*Payback Periode*).

2.2 Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS)

2.2.1 Konsep Sistem PLTS

Pembangkit listrik tenaga surya itu konsepnya sederhana yaitu mengubah cahaya matahari menjadi energi listrik. Cahaya matahari merupakan salah satu bentuk energi dari sumber daya alam. Sumber daya alam matahari ini sudah

Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:

- a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
- b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.

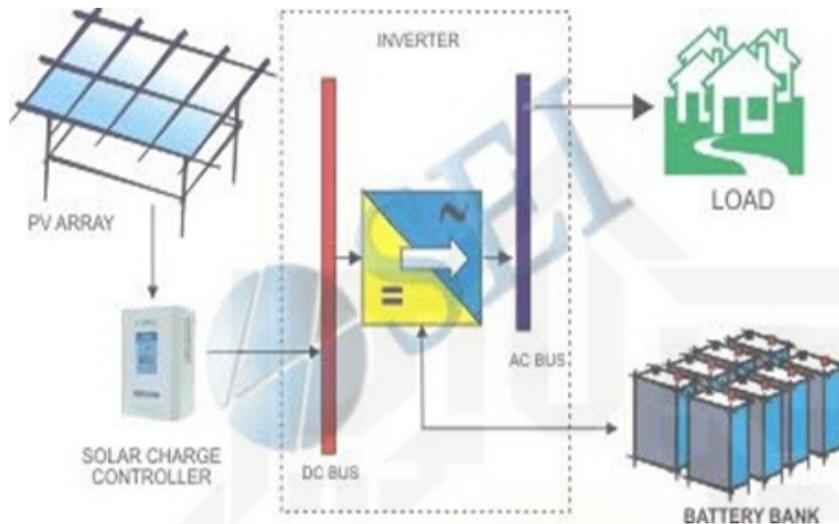
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.

banyak digunakan untuk memasok daya listrik di satelit komunikasi melalui sel surya. Sel surya ini dapat menghasilkan energi listrik dalam jumlah yang tidak terbatas langsung diambil dari matahari, tanpa ada bagian yang berputar dan tidak memerlukan bahan bakar. Sehingga sistem sel surya sering dikatakan bersih dan ramah lingkungan.

Bandingkan dengan sebuah generator listrik, ada bagian yang berputar dan memerlukan bahan bakar untuk dapat menghasilkan listrik. Suaranya bising. Selain itu gas buang yang dihasilkan dapat menimbulkan efek gas rumah kaca (*green house gas*) yang pengaruhnya dapat merusak ekosistem planet bumi kita. Sistem sel surya yang digunakan di permukaan bumi terdiri dari panel sel surya, rangkaian kontroler pengisian (*charge controller*), dan aki (batere) 12 volt yang *maintenance free*. Panel sel surya merupakan modul yang terdiri beberapa sel surya yang digabung dalam hubungan seri dan paralel tergantung ukuran dan kapasitas yang diperlukan. Penggunaan modul surya yang sering digunakan saat ini adalah modul sel surya 20 watt atau 30 watt. Modul sel surya itu menghasilkan energi listrik yang proporsional dengan luas permukaan panel yang terkena sinar matahari.

Rangkaian kontroler pengisian aki dalam sistem sel surya itu merupakan rangkaian elektronik yang mengatur proses pengisian akinya. Kontroler ini dapat mengatur tegangan aki dalam selang tegangan 12 volt plus minus 10 persen. Bila tegangan turun sampai 10,8 volt, maka kontroler akan mengisi aki dengan panel surya sebagai sumber dayanya. Tentu saja proses pengisian itu akan terjadi bila berlangsung pada saat ada cahaya matahari. Jika penurunan tegangan itu terjadi pada malam hari, maka kontroler akan memutus pemasokan energi listrik. Setelah proses pengisian itu berlangsung selama beberapa jam, tegangan aki itu akan naik. Bila tegangan aki itu mencapai 13,2 volt, maka kontroler akan menghentikan proses pengisian aki itu.

Rangkaian kontroler pengisian itu sebenarnya mudah untuk dirakit sendiri. Tapi, biasanya rangkaian kontroler ini sudah tersedia dalam keadaan jadi di pasaran. Memang harga kontroler itu cukup mahal kalau dibeli sebagai unit



Gambar 2.1 Konfigurasi Umum PLTS *Off-Grid* [10]

Prinsip kerja sistem PLTS *Off-Grid* adalah sumber energi 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 kontroler agar tidak terjadi over charge. Besar energi yang dihasilkan oleh PV sangat tergantung kepada intensitas penyinaran matahari yang diterima oleh PV dan efisiensi cell. Intensitas matahari maksimum mencapai 1000 Watt/m², dengan efisiensi cell 14% maka daya yang dapat dihasilkan oleh PV adalah sebesar 140 Watt/m². 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.

2.2.3 Sistem PLTS *On-Grid*

Grid Connected PV System (Sistem PLTS *On-Grid*) merupakan solusi *Green Energy* bagi penduduk perkotaan baik perumahan ataupun perkantoran. Sistem PLTS ini menggunakan Modul Surya (*Photovoltaic Module*) untuk menghasilkan listrik yang ramah lingkungan dan bebas emisi. Dengan

adanya sistem PLTS ini akan mengurangi tagihan listrik rumah tangga, dan memberikan nilai tambah pada pemiliknya.



Gambar 2.2 Konfigurasi sistem PLTS *On-Grid* [11]

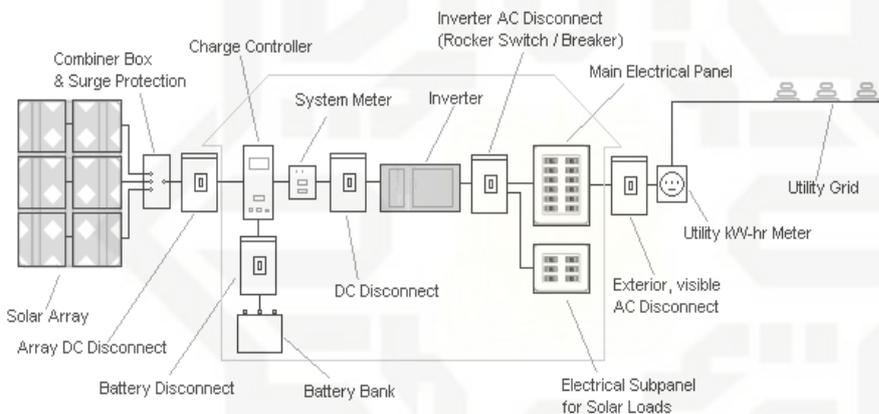
Sesuai namanya, *Grid Connected-PV*, maka sistem PLTS ini akan tetap berhubungan dengan jaringan PLN dengan mengoptimalkan pemanfaatan energi PV untuk menghasilkan energi listrik semaksimal mungkin.

Pada siang hari, modul surya yang terpasang pada atap akan mengkonversi sinar matahari menjadi energi listrik arus searah (DC). Selanjutnya sebuah komponen yang disebut Grid-inverter merubah listrik arus searah (DC) dari PV menjadi listrik arus bolak-balik (AC) yang kemudian dapat digunakan untuk mensuplai berbagai peralatan rumah tangga seperti Lampu, TV, Kulkas, Mesin Cuci, dll. Jadi pada siang hari, kebutuhan energi listrik berbagai peralatan disuplai langsung oleh Modul Surya. Jika pada kondisi ini terdapat kelebihan energi dari PV maka kelebihan energi ini dapat dijual ke PLN (tergantung kebijakan).

Pada malam hari atau jika kondisi cuaca mendung maka peralatan akan dibantu oleh jaringan PLN. Hal ini dimungkinkan karena sistem ini tetap terkoneksi dengan jaringan PLN. Berdasarkan pola operasi sistem tenaga listrik ini dibagi menjadi dua yaitu:

2.2.3.1 Sistem dengan Penyimpanan (*Grid-Connected PV With A Battery Back Up*)

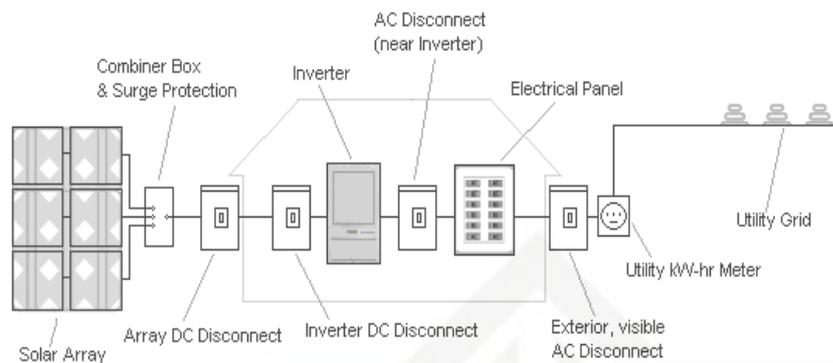
Sistem PLTS *Grid-Connected* ini dapat menggunakan baterai sebagai cadangan atau backup energi. Sistem ini disebut sebagai *grid connected PV system with battery backup*. Sistem ini berfungsi sebagai *backup* energi listrik untuk menjaga kontinuitas operasional peralatan-peralatan elektronik. Jika suatu saat terjadi kegagalan pada suplai listrik PLN (pemadaman listrik) maka peralatan-peralatan elektronik dapat beroperasi secara normal dalam jangka waktu tertentu tanpa adanya gangguan.



Gambar 2.3 *Grid-connected PV with a battery back up* [12]

2.2.3.2 Sistem Tanpa Baterai (*Grid-Connected PV Without A Battery Back Up*)

Sistem PLTS ini tidak menggunakan *battery* sebagai backupnya. Berdasarkan aplikasinya sistem ini dibagi menjadi dua yaitu, *Grid-connected distributed PV* dan *Grid-connected centralized PV*.



Gambar 2.4 *Grid-connected PV without a battery back up* [13]

2.2.4 Sel Surya

Untuk mengubah energi matahari menjadi energi listrik dapat dilakukan dengan sel surya atau *solar cell*. Apabila permukaan sel surya dikenai cahaya maka dihasilkan pasangan elektron dan *hole*. Elektron akan meninggalkan sel surya dan akan mengalir pada rangkaian luar sehingga timbul arus listrik. Arus listrik yang dihasilkan oleh sel surya dapat dimanfaatkan langsung atau disimpan dulu dalam baterai untuk digunakan kemudian.

Besarnya pasangan elektron dan *hole* yang dihasilkan, atau besarnya arus yang dihasilkan tergantung pada intensitas cahaya maupun panjang gelombang cahaya yang jatuh pada sel surya. Intensitas cahaya menentukan jumlah foton, makin besar intensitas cahaya yang mengenai permukaan sel surya makin besar pula foton yang dimiliki sehingga makin banyak pasangan elektron dan *hole* yang dihasilkan yang akan mengakibatkan besarnya arus yang mengalir. Semakin pendek panjang gelombang cahaya maka semakin tinggi energi fotonnya sehingga makin besar energi elektron yang dihasilkan, dan juga berimplikasi pada makin besarnya arus yang mengalir. Prinsip kerja sel surya adalah sebagai berikut: Cahaya yang jatuh pada sel surya menghasilkan elektron yang bermuatan positif dan *hole* yang bermuatan negatif kemudian elektron dan *hole* mengalir membentuk arus

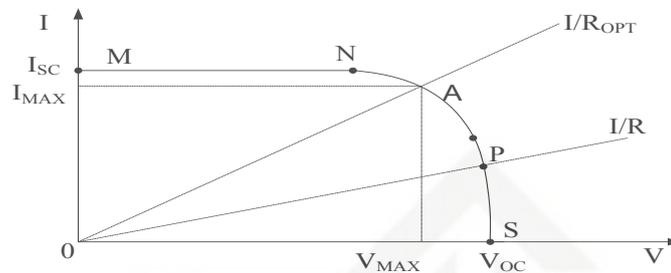
Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.

listrik. Prinsip ini dikenal sebagai prinsip *photoelectric*. Sel surya dapat tereksitasi karena terbuat dari semikonduktor yang mengandung unsur silikon. Silikon ini terdiri atas dua jenis lapisan sensitif: lapisan negatif (tipe-n) dan lapisan positif (tipe-p). Karena sel surya ini mudah pecah dan berkarat sehingga sel ini dibuat dalam bentuk modul-modul dengan ukuran tertentu yang dilapisi plastik atau kaca bening yang kedap air yang dikenal dengan modul surya [14].

2.2.4.1 Karakteristik Sel Surya

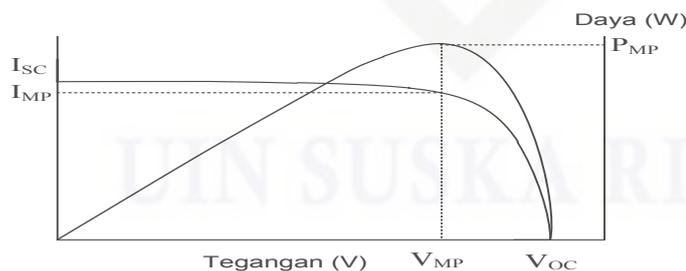
Sel surya adalah sebuah alat yang untuk memahami karakteristiknya diperlukan suatu grafik. Sifat elektrik dari sel surya dalam menghasilkan energi listrik dapat dilihat dari karakteristik listrik sel tersebut. Yaitu berdasarkan arus dan tegangan yang dihasilkan sel sel surya pada kondisi cahaya dan beban berbeda-beda. Kurva IV menggambarkan sel surya lebih lengkap. Ketika sel dihubungkan dengan beban (R) beban memberi hambatan sebagai garis linier dengan garis $I/V = I/R$. Hal tersebut menunjukkan daya yang didapat bergantung pada nilai resistansi. Jika R kecil maka sel beroperasi pada daerah kurva MN, dimana sel beroperasi sebagai sumber arus yang konstan atau arus *short circuit*. Pada sisi lain, jika R besar, sel beroperasi pada kurva PS, dimana sel beroperasi sebagai sumber tegangan yang konstan atau tegangan *open circuit* jika dihubungkan dengan hambatan optimal berarti sel surya menghasilkan daya maksimal dengan tegangan maksimal dan arus maksimal. [15]



+Gambar 2.5 Karakteristik arus dan tegangan solar sel [15]

2.2.4.2 Karakteristik Daya pada Sel Surya

Daya (P) yang dihasilkan dari sel surya dihasilkan dari tegangan dan arus untuk karakteristik operasi tertentu. Untuk setiap tegangan yang dihasilkan dari sepanjang garis kurva, hanya ada arus yang sesuai. Ini berarti, bahwa daya yang dihasilkan oleh modul PV juga akan bervariasi, tergantung pada tegangan yang beroperasi. Daya yang dihasilkan oleh sel surya akan mencapai nilai maksimum ketika nilai resistansi beban sama besar dengan resistansi beban dan sama dengan resistansi perlawanan. Ini disebut dengan MPP atau P_{max} . Arus dan tegangan disini disebut dengan V_{mp} dan I_{mp} masing-masing.



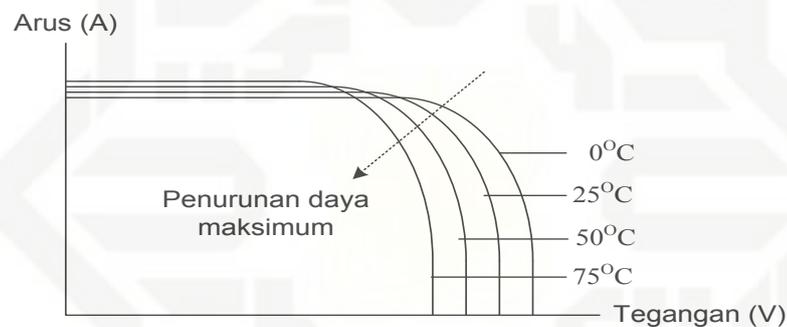
Gambar 2.6 Kurva daya untuk sel surya [15]

2.2.5 Faktor Mempengaruhi Kinerja Sel Surya

Adapun faktor-faktor yang mempengaruhi kinerja dari sel surya adalah sebagai berikut:

1. Temperatur

Semakin tinggi temperatur pada solar sel diatas NOCT maka, akan semakin menurun tegangan yang akan dihasilkan oleh solar sel. Tetapi untuk arus akan semakin meningkat seiring tingginya tempertur.



Gambar 2.7 Variasi karakteristik temperatur [16]

Spesifikasi standar STC pada temperatur 25° C. Dan keperluan penggunaan untuk mendisain sistem adalah:

$$\text{Temperatur sel} = \text{Suhu lingkungan} + 25^{\circ}$$

Sebuah sel surya dapat tetap beroperasi pada saat temperaturnya lebih besar dari NOCT dan biasanya bisa diatas suhu temperatur lingkungan.

2. Radiasi

Radiasi mempengaruhi variasi arus dan tegangan. Terdapat hubungan antara variasi pada radiasi dan variasi pada hubungan arus. Tegangan pada rangkaian terbuka tidak berubah secara drastis terhadap radiasi. Namun, bagaimanapun tetap terjadi sedikit peningkatan pada saat kenaikan radiasi.

Semakin tinggi radiasi maka, semakin besar pula arus dan tegangan yang dihasilkan..



Gambar 2.8 Karakteristik variasi tegangan terhadap radiasi [16]

2.2.6 Komponen Pada PLTS *On-Grid*

2.2.6.1 Modul Surya

Modul surya merupakan komponen PLTS yang tersusun dari beberapa sel surya 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*.

Sebagai sebuah komponen penghasil listrik, modul surya memiliki karakteristik tertentu berdasarkan parameter terukur sebagai berikut [17]:

- Peak Power* (W_p), menyatakan daya maksimum yang terjadi pada titik lutut (knee point) kurva I-V.
- Peak voltage* (V_{mp}), menyatakan nilai tegangan pada titik lutut kurva I-V.
- Open voltage* (V_{oc}), menyatakan nilai tegangan pada saat terminal positif dan negatif tidak ada beban atau terbuka.
- Peak current* (I_{mp}), menyatakan besarnya arus yang mengalir pada titik lutut kurva I-V.

Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:

- a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
- b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.

2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.

- e. *Short circuit current* (I_{sc}), menyatakan arus yang mengalir pada saat terminal positif dan negatif dihubungkan.

Standard Test Conditions (STC), memberi keterangan bahwa modul surya diuji dengan kondisi test tertentu, seperti: iradiasi = 1000 W/m^2 ; temperatur = 25°C .

2.2.6.2 Jenis Jenis Modul Surya

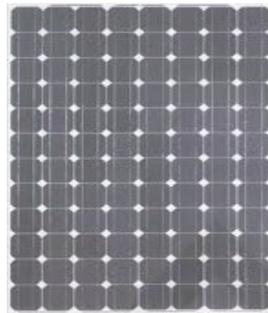
1. *Crystalline cells*

a. *Monocrystalline*

Jenis ini terbuat dari batangan kristal yang diiris tipis – tipis. Karena sel surya berasal dari satu induk batangan kristal, maka setiap potongan memiliki karakteristik yang identik dengan yang lainnya. Sehingga efisiensi *monocrystalline* mampu mencapai $15 - 20 \%$, oleh karena itu harga *monocrystalline* lebih mahal daripada *polycrystalline*. *Monocrystalline* menyerap panas lebih banyak dari *polycrystalline*, itu artinya suhu permukaan *monocrystalline* akan lebih tinggi dibandingkan dengan *polycrystalline* pada lingkungan yang sama. Semakin tinggi suhu *crystal silicon*, semakin menurun kemampuannya. Pada suhu tinggi performa *monocrystalline* tidak sebaik *polycrystalline*, artinya akan terjadi penurunan performa yang lebih banyak pada solar panel *monocrystalline*. Kelemahan dari sel surya tipe *monocrystalline* adalah potongan dari setiap sel suryanya berupa segi 6, 8 atau bulat. Sehingga apabila disusun bersama sel surya yang lainnya akan membentuk ruang kosong. Tentu saja hal ini akan mengurangi kerapatan sel surya yang apabila disusun pada skala besar menimbulkan ruang sisa tidak berguna yang cukup banyak [16].

Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.



Gambar 2.9 *Monocrystalline* [18]

b. *Polycrystalline*

Jenis ini terbuat dari beberapa batang kristal silikon yang dilebur kemudian dituang dalam cetakan yang umumnya berbentuk persegi. Kemurnian kristal silikon *polycrystalline* tidak setinggi *monocrystalline* sehingga efisiensinya sekitar 13 – 16%. Tipe ini memerlukan luas permukaan yang lebih besar dibandingkan dengan jenis *monocrystalline* untuk menghasilkan daya listrik yang sama. Akan tetapi dengan potongan yang berbentuk persegi, *polycrystalline* dapat disusun lebih rapat dari pada *monocrystalline*, sehingga mengurangi ruang – ruang kosong antar sel surya. Selain itu, *Polycrystalline* mempunyai toleransi terhadap suhu yang rendah. Sehingga, dalam performanya, *Polycrystalline* tidak menyerap panas dan suhu permukaan *Polycrystalline* tidak panas dan dapat tetap bekerja secara maksimal.



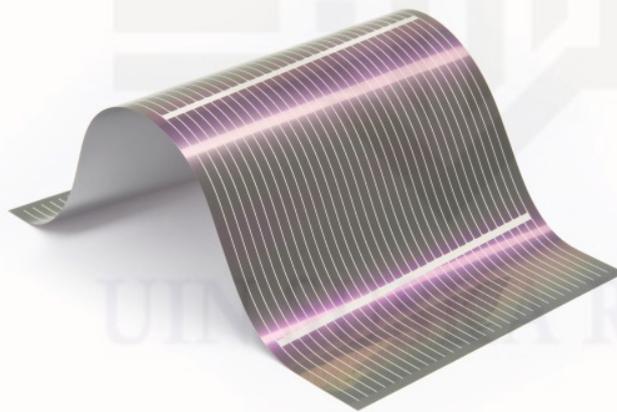
Gambar 2.10 *Polycrystalline* [19]

Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.

2. *Thin Layer*

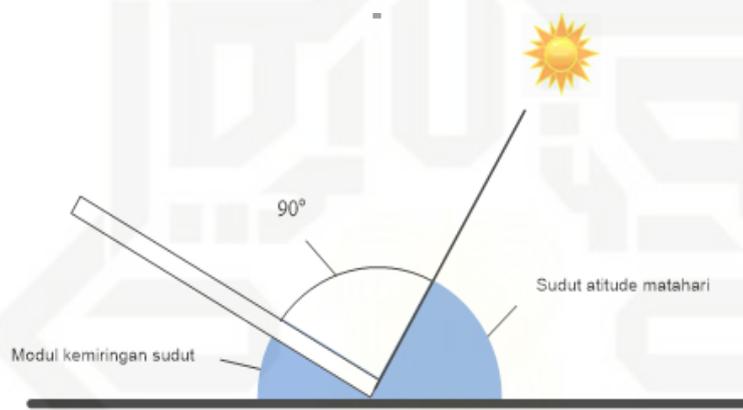
Merupakan panel surya (dua lapisan) dengan struktur lapisan tipis mikrokristal-silikon dan *amorphous* dengan efisiensi modul hingga 8.5% sehingga untuk luas permukaan yang diperlukan per *watt* daya yang dihasilkan lebih besar daripada *monocrystalline & polycrystalline*. Jenis sel surya ini mempunyai kerapatan atom yang rendah, sehingga mudah dibentuk dan dikembangkan ke berbagai macam ukuran dan potongan dan secara umum dapat diproduksi dengan biaya yang lebih murah. Sel surya ini dibuat dengan menambahkan satu atau beberapa lapisan tipis ke dalam lapisan dasar. Sel surya jenis ini sangat tipis sehingga ringan dan fleksibel. Oleh sebab itu sering disebut juga sebagai TFPV (*Thin Film Photovoltaic*). Inovasi terbaru adalah *Thin Film Triple Junction PV* (dengan tiga lapisan) dapat berfungsi sangat efisien dalam udara yang sangat berawan dan dapat menghasilkan daya listrik sampai 45% lebih tinggi dari panel jenis lain dengan daya yang ditera setara [16].



Gambar 2.11 Thin Layer [20]

2.2.7 Kemiringan Modul Surya

Modul surya harus dipasang pada sebuah lahan terbuka untuk mendapatkan radiasi matahari yang besar. Dan untuk mendapatkan radiasi matahari yang besar, apabila modul surya dipasang di selatan atau di utara bumi maka modul surya mungkin dipasang miring pada sudut horizontal sebesar 90° diantara matahari dan modul surya.



Gambar 2.12 Penempatan modul surya [16]

Jika kita ingin mengarahkan modul surya ke matahari sepanjang waktu maka akan memerlukan *solar tracker*. Akan tetapi, *solar tracker* harganya mahal dan tidak biasa digunakan untuk PLTS *on grid*. Dan yang paling umum adalah memasang PLTS pada sudut tertentu yang dapat menghasilkan produksi energi paling tinggi. Sudut yang dimaksud adalah sudut yang sama dengan sudut latitude pada lokasi itu. Jika Indonesia berada pada sudut *latitude* 0,1 maka panel juga harus dipasang 0,1. Namun, hal ini tidak mempertimbangkan jika ada bayang-bayang baik dari pohon atau bangunan lain.

2.2.8 Inverter

Inverter adalah komponen elektronika pendukung PLTS untuk mengubah arus searah DC (*direct current*) menjadi arus bolak-balik AC (*alternating current*) yang umumnya peralatan listrik butuhkan. Pemilihan inverter yang tepat untuk aplikasi tertentu tergantung pada kebutuhan beban dan juga kepada sistem itu sendiri. Apakah sistem yang terhubung ke jaringan listrik (*grid connected*) atau

Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:

- a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
- b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.

2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.

sistem yang berdiri sendiri (*stand alone system*). Efisiensi *inverter* pada saat pengoperasian sekitar 90%.

2.2.8.1 Menyesuaikan *Array* dengan Spesifikasi Tegangan Inverter

a. Minimum tegangan Inverter

Modul surya memiliki tegangan terendah di cuaca hangat. *array* harus dirancang sehingga tegangan V_{MP} *array* pada suhu operasi tertinggi tidak jatuh di bawah tegangan MPPT minimum pada inverter [16]. Langkah pertama adalah untuk menemukan tegangan modul pada suhu modul maksimum dengan menggunakan persamaan (2.1) :

$$V_{MP} = V_{MP-STC} - [\gamma_V \times (T - T_{STC})] \quad (2.1)$$

Dimana :

$V_{MP\ STC}$ = Tegangan MPP pada kondisi pengujian standar (STC),

γ_V = Koefisien suhu V_{MP} ,

T = Suhu modul pada suhu udara ambien maksimum

T_{STC} = Suhu di STC

b. Maksimum Tegangan Inverter

Jumlah maksimum modul dihitung dengan suhu terendah ketika tegangan V_{OC} modul berada pada titik tertinggi. Tegangan V_{OC} digunakan sebagai pengganti tegangan V_{MP} karena tegangan V_{OC} lebih tinggi dan sebagai tegangan maksimum yang disediakan untuk inverter ketika *array* terhubung. Tegangan V_{OC} Modul adalah nilai pertama yang dihitung dengan persamaan (5.9):

$$V_{OC} = V_{OC-STC} - [\gamma_{VOC} \times (T - T_{STC})] \quad (2.2)$$

Dimana :

$V_{OC\ STC}$ = Tegangan rangkaian terbuka di STC,

γ_{VOC} = koefisien suhu untuk V_{OC} dan

γ_V = Koefisien suhu V_{OC} ,

T = Suhu modul diharapkan terendah di suhu yang ditentukan.

Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.

T_{STC} =Suhu modul STC

Perhitungan untuk V_{OC} tidak diukur untuk modul PV selama musim dingin atau musim panas, nilai STC karena itu digunakan bersama dengan faktor keamanan 5% untuk menghitung tegangan yang lebih tinggi.

$$V_{inverter} = V_{max\ input} \cdot 0.95 \quad (2.3)$$

Jumlah maksimum modul dihitung persamaan (2.4) dengan membagi tegangan inverter dengan V_{oc} modul.:

$$Jumlah\ modul = \frac{V_{Inverter}}{V_{oc\ Mod}} \quad (2.4)$$

2.2.8.2 Menyesuaikan Array dengan Current Rating Inverter

Hal ini penting untuk memastikan bahwa arus maksimum yang dihasilkan oleh array lebih rendah dari arus maksimum *input* inverter. Jumlah string paralel array dari dihitung dengan menggunakan arus hubungan singkat (I_{sc}).

$$I_{SC\ MOD} = I_{SC-STC} - [\gamma_{VOC} \times (T - T_{STC})] \quad (2.5)$$

Dimana:

I_{SC-STC} = Tegangan rangkaian terbuka di STC,

γ_{VOC} = Koefisien suhu untuk V_{OC}

T = Suhu modul diharapkan terendah di suhu yang ditentukan.

T_{STC} =Suhu modul STC

2.2.8.3 Menyesuaikan Array dengan Power Rating Inverter.

Ketika mencocokkan array ke inverter, perhitungan untuk arus, tegangan dan daya perlu dilakukan untuk memastikan ukuran yang benar dari sistem PV. Perhitungan arus dan tegangan dilakukan untuk menghitung jumlah string dan jumlah modul dalam sebuah string. Perhitungan daya dilakukan untuk menemukan jumlah maksimum modul diperbolehkan dalam sistem (GSES, 2013). Dengan inverter dan modul yang dipilih, jumlah maksimum modul dalam array adalah:

Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.

$$\text{Ukuran array} = \frac{\text{Maksimum daya inverter}}{\text{Daya modul}} \quad (2.6)$$

2.2.8.4 Macam – macam Inverter

1. Berdasarkan Tipe Gelombang

a. *Square Sine Wave Inverter*

Tipe inverter ini akan menghasilkan Output gelombang (sinus) persegi, jenis inverter ini tidak cocok untuk beban AC tertentu seperti motor induksi atau transformer, selain tidak dapat bekerja square sine wave dapat merusak peralatan tersebut.

b. *Pure Sine Wave Inverter*

Tipe inverter yang menghasilkan Output gelombang sinus murni setara PLN. Inverter jenis ini diperlukan terutama untuk beban-beban yang menggunakan kumparan induksi agar bekerja lebih mudah, lancar dan tidak cepat panas.

c. *Modified Sine Wave Inverter*

Tipe inverter yang menghasilkan Output gelombang persegi yang disempurnakan/persegi kuasi yang merupakan kombinasi antara square wave dan sine wave. Inverter ini masih dapat menggerakkan perangkat yang menggunakan kumparan, hanya saja tidak maksimal serta faktor energy-loss yang besar.. dan tidak cocok dengan perangkat elektronik yang sensitif atau khusus, misalnya laser printer tertentu, peralatan audio.

d. *Grid Tie Inverter (GTI)*

Grid Tie Inverter (GTI) adalah tipe spesial inverter yang dirancang untuk menyuntikkan arus listrik ke sistem distribusi tenaga listrik yang sudah ada, misalkan PLN/Genset. Inverter tersebut harus disinkronkan dengan frekuensi grid yang sama, biasanya berisi satu atau lebih fitur maksimum power point tracking untuk mengkonversi jumlah maksimum daya yang tersedia, dan juga termasuk fitur proteksi keselamatan.

Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:

- a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
- b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.

2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.

Grid Tie Inverter juga dikenal sebagai synchronous inverter dan perangkat ini tidak dapat berdiri sendiri, apalagi bila jaringan tenaga listriknya tidak tersedia. Dengan adanya grid tie inverter kelebihan KWh yang diperoleh dari sistem PLTS ini bisa disalurkan kembali ke jaringan listrik PLN untuk digunakan bersama.

Rugi-rugi yang terjadi pada inverter biasanya berupa dissipasi daya dalam bentuk panas. Efisiensi tertinggi dipegang oleh *grid tie inverter* bisa mencapai 95-97% bila beban outputnya hampir mendekati *rated* bebannya. Sedangkan pada umumnya efisiensi inverter adalah berkisar 50-90% tergantung dari tipe inverter dan beban outputnya. Bila beban outputnya semakin mendekati beban kerja inverter yang tertera maka effisiensinya semakin besar, demikian pula sebaliknya.

Modified sine wave inverter bila dipaksakan untuk beban-beban induktif maka effisiensinya akan jauh berkurang dibandingkan dengan *pure sine wave inverter*. Perangkat beban akan menyedot daya 20% lebih besar dari yang seharusnya. Oleh karena itu dari sisi harga maka *pure sine wave inverter* adalah yang paling mahal selain *Grid Tie Inverter*.

2. Berdasarkan Konfigurasi

a. Inverter Mikro (*Micro Inverter*)

Inverter mikro atau juga yang biasa disebut inverter modul dipasang dibagian belakang setiap modul surya. Inverter ini diproduksi di kisaran 100-300 W. Keuntungan inverter mikro adalah menggunakan kabel DC yang sedikit karena keluaran dari modular merupakan daya AC yang langsung diparalelkan pada setiap modul dan kemudian disambungkan ke jaringan. Keuntungan lainnya ialah, apabila untuk penambahan daya, hanya dengan menambahkan modul surya dan inverternya saja dan tidak perlu membongkar.

Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.
2. Dilarang mengemukakan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.



Gambar 2.13 Inverter mikro [21]

b. Inverter string (*String Inverter*)

String inverter biasanya digunakan untuk pemasangan jaringan tersambung skala kecil (10kW atau kurang). Biasanya kapasitas *string inverter* ialah 1 kW sampai kira-kira 12 kW, ketika PLTS berkapasitas di atas 5 kW maka inverter *multi string* atau inverter terpusat dapat digunakan sebagai inverter alternatif. Setiap inverter *on-grid* memiliki fungsi sebagai MPPT dan tegangan DC inputnya bisa mencapai 1000V DC.



Gambar 2.14 *string inverter* [22]

c. Inverter Terpusat (*Central Inverter*)

Inverter terpusat ini biasanya digunakan untuk daya PLTS yang besar, sebagai contoh inverter ini digunakan pada daya dari 30 kWp dan dari 100kWp. Inverter terpusat ini sama halnya dengan inverter string dan multi-string namun yang membedakan dengan inverter terpusat adalah array pada PLTS dapat dibagi menjadi beberapa *Sub-array*.

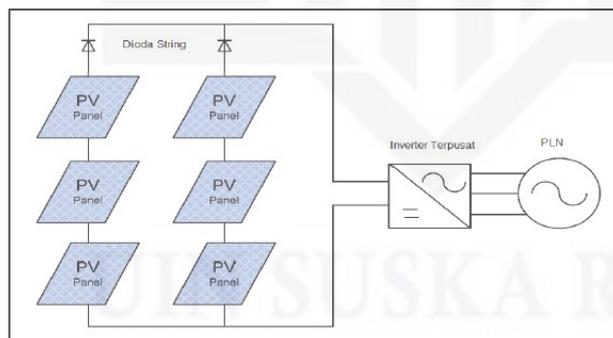


Gambar 2.15 Central inverter [22]

2.2.8.5 Konfigurasi Inverter

a. Konfigurasi Inverter Terpusat

Konfigurasi Inverter Terpusat yang relatif sederhana dari pembangkit listrik tenaga surya fotovoltaik. Topologi penyambungan pembangkit tipe ini paling murah, karena hanya memiliki satu inverter DC ke AC terpusat untuk string modul fotovoltaik yang dihubungkan secara seri dan paralel untuk menghasilkan tegangan dan arus DC tertentu. Kelemahan lain adalah permasalahan keandalan sistem, dengan adanya gangguan atau kerusakan pada inverter maka akan menyebabkan seluruh pembangkit berhenti beroperasi.



Gambar 2.16 Konfigurasi Fotovoltaik Inverter Terpusat [23]

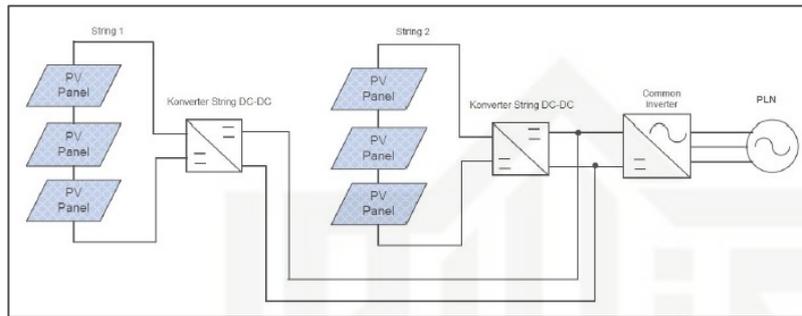
b. Konfigurasi Multi - String Inverter

Multi string inverter menggunakan beberapa string dengan sistem pelacak MPP yang terpisah (menggunakan DC/DC konverter) terhubung ke inverter DC/AC umum untuk menghasilkan AC yang disalurkan ke sistem distribusi.

Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.

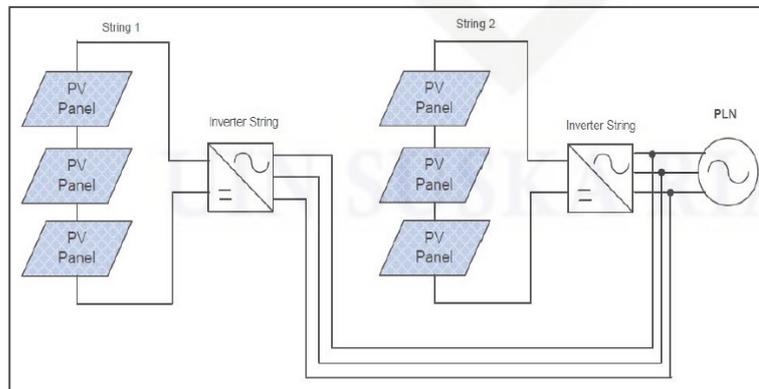
Konfigurasi ini memungkinkan untuk mengoptimalkan efisiensi pengoperasian setiap string secara terpisah, dan integrasi berbagai orientasi surya untuk memaksimalkan produksi energi.



Gambar 2.17 Konfigurasi *multi-string* inverter [23]

c. Konfigurasi Inverter Multi String

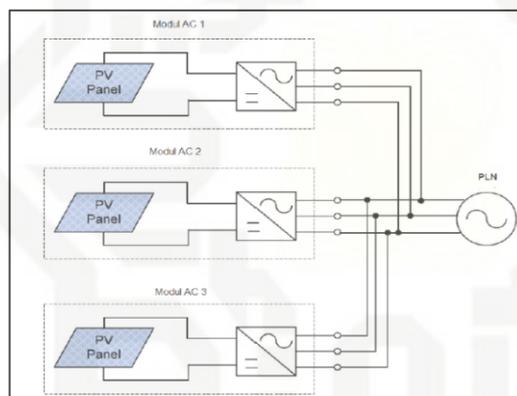
Inverter String *Array* mengilustrasikan yang mana rangkaian seri tunggal modul fotovoltaik dihubungkan secara seri dan string terhubung ke inverter tunggal dan ada satu inverter untuk setiap string. Keuntungan dari konfigurasi ini adalah bahwa string inverter memiliki kemampuan pelacakan titik daya maksimum *Maximum Power Point Tracking* (MPPT) secara terpisah dari setiap string Fotovoltaik untuk mengurangi kerugian dari ketidakcocokan dan bayangan parsial sehingga dapat meningkatkan produksi energi. Kelemahan konfigurasi ini adalah diperlukan jumlah inverter yang lebih banyak.



Gambar 2.18 Konfigurasi *Inverter-string* Inverter [23]

d. Konfigurasi Inverter Modul

Konfigurasi inverter modul dimana setiap modul fotovoltaik memiliki inverter DC/AC dan *Maximum Power Point Tracking* (MPPT). Keuntungan dari konfigurasi ini adalah desain yang sangat fleksibel sehingga mudah untuk menambahkan inverter guna meningkatkan kapasitas pembangkit listrik. Selain itu konfigurasi ini meningkatkan produksi energi dengan cara mengurangi kerugian energi dari ketidaksesuaian inverter dan meningkatkan keandalan. Kelemahan dalam konfigurasi ini adalah diperlukan biaya tambahan untuk inverter dan pemeliharaan yang relatif lebih kompleks.



Gambar 2.19 Konfigurasi *inverter* modul AC [23]

2.2.9 Sistem Proteksi *Sub-Array* dan *Array*

Menurut draft IEC 62548: *Design requirements for Photovoltaic (PV) arrays*, *fuse (DC isolator)* pada PLTS dihitung pada rating :

$$1.5 \times I_{SC} < I_{TRIP} < 2.4 \times I_{SC} \quad (2.7)$$

Perangkat proteksi *Sub- Array* ditentukan pada nilai :

$$1.25 \times I_{SC \text{ SUB ARRAY}} < I_{TRIP} < 2.4 \times I_{SC \text{ SUB ARRAY}} \quad (2.8)$$

Misalkan I_{sc} dari modul adalah 5.73A maka *fuse* string yang harus diperoleh antara 8.59A dan 13.75A maka pada kondisi ini dipilih sekering (*fuse*) 10 A

Untuk *sub-array* dengan 10 string terhubung paralel sirkuit pemutus (*circuit breaker*) *sub-array* diperoleh antara 71.62A dan 137.52A oleh karena itu dapat dipilih *circuit breaker* 72A.

Untuk *sub-array* dengan 9 string terhubung paralel, *circuit breaker* untuk perlindungan *sub-array* harus berada antara 64.46A dan 123.76A. Pada kondisi ini, dipilih *circuit breaker* 65A. Catatan: juga bisa memilih untuk memiliki perangkat 72A.

PV Array DC isolator akan terletak pada kotak persimpangan array sebelum masuk ke inverter. maka arus minimal DC isolator ditentukan pada *rating* nilai :

$$1.25 \times I_{SC\ ARRAY} < I_{TRIP} \quad (2.9)$$

Ini akan memperoleh peroleh *circuit breaker* setidaknya 208A.

Menurut Draft IEC 62.548: *Design requirements for Photovoltaic (PV) arrays*, tegangan semua perlindungan dan perangkat pemutusan, serta kabel, tegangan maksimum $V_{DC\ ARRAY}$ ditentukan pada suhu minimum.

$$V_{OC\ ARRAY} = No. Mod \times Max V_{oc\ modul} \quad (2.10)$$

2.2.10 Keseimbangan Sistem (*Balance of System*)

Dalam sistem PLTS, terdapat komponen utama yaitu modul surya dan inverter. Selain dari pada itu, juga terdapat komponen penunjang. Komponen penunjang ini bertujuan untuk memberikan kinerja yang maksimal pada PLTS. Keseimbangan peralatan dan komponen pendukung yang lainnya haruslah terpasang dengan baik. Jika tidak, kinerja dan kehandalan sistem akan bermasalah.

Kunci keseimbangan sistem pada komponen termasuk:

2.2.11 Kabel

Dalam sistem *grid connected* membutuhkan kabel penghubung, yaitu:

2.2.11.1 Kabel DC

Kabel DC adalah kabel yang berada pada sistem DC pada PLTS.

Kabel DC terdiri dari kabel *string*, kaber *Array* dan kabel inverter DC .

Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:

- a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
- b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.

2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.

2.2.11.2 Kabel AC

Kabel AC yang menyuplai inverter ke kWh meter menuju isolator AC inverter . Tegangan yang keluar dari inverter adalah 220V – 240V satu fasa. Sedangkan untuk sistem yang besar inverter yan digunakan adalah 380V AC tiga fasa.

2.2.11.3 Kabel Pembumian

Kabel yang digunakan untuk pembumian adalah sama halnya dengan kabel yang digunakan untuk pembumian instalasi bangunan.

2.2.11.4 Kotak Persimpangan *Array*

Array terdiri dari sejumlah *string* paralel, maka kabel pada *array* akan saling berhubungan di sebuah kotak persimpangan (*junction box*). Terkadang disebut dengan *DC combiner box*. Sebuah kotak persimpangan umumnya juga terdapat di rumah untuk instalasi skring pada PLTS.

2.2.12 Perangkat Pemutus

a. Isolator DC pada PLTS

Isolator DC pada PLTS ialah sebuah alat yang sama jenisnya dengan *DC circuit breaker*. Alat ini digunakan sebagai saklar penghubung dan pemutus. Namun, harus dipasang pada arus DC. Alat ini biasanya dipasang diantara PLTS dan inverter. Alat ini terbagi dua yaitu isolator yang memiliki polaritas dan isolator yang tidak memiliki polaritas.

b. Isolator AC pada PLTS

Peletakan isolasi saklar manual harus dipasang diantara inverter dan jaringan listrik. Ini di anjurkan untuk menempatkan bahwa sisi inverter yang terdapat perangkat metering PLTS.

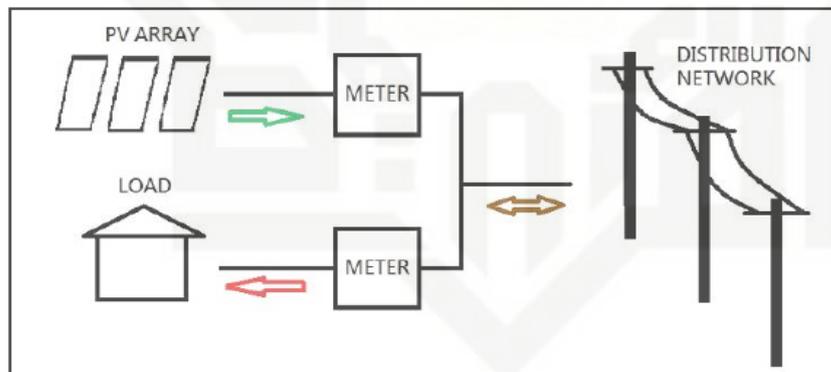
2.2.13 Meteran

Meter listrik mencatat energi listrik dalam kWh yang dikonsumsi oleh beban di dalam suatu gedung. Meteran ini mencatat jumlah energi yang dikonsumsi dalam satuan kWh. Listrik yang digunakan oleh konsumen kemudian ditagih dan untuk penagihan listrik ini berdasarkan tarif yang ditetapkan.

Ada banyak jenis meter yang tersedia. Meteran sederhana adalah perangkat mekanis dengan disk yang berputar dikalibrasi yang berputar Ketika listrik sedang dikonsumsi. Sebuah meter digital yang lebih maju dapat 'dia waktu hari bahwa energi adalah dikonsumsi. Jenis meteran digunakan ketika tarif listrik bervariasi pada waktu hari yang berbeda.ada beberapa jenis meter yang akan dipasang dengan sistem PLTS *grid-connected* tergantung pada persetujuan pembelian dengan distributor listrik yaitu :

a. Meteran Bruto

Meteran bruto adalah pengaturan meteran di mana pengukuran jumlah tenaga listrik yang diekspor dan yang diimpor dilakukan secara terpisah. Seluruh tenaga listrik yang dihasilkan oleh sistem PLTS secara efektif diekspor ke jaringan dan dapat diperlakukan secara terpisah dari tenaga listrik yang dikonsumsi oleh pengguna.

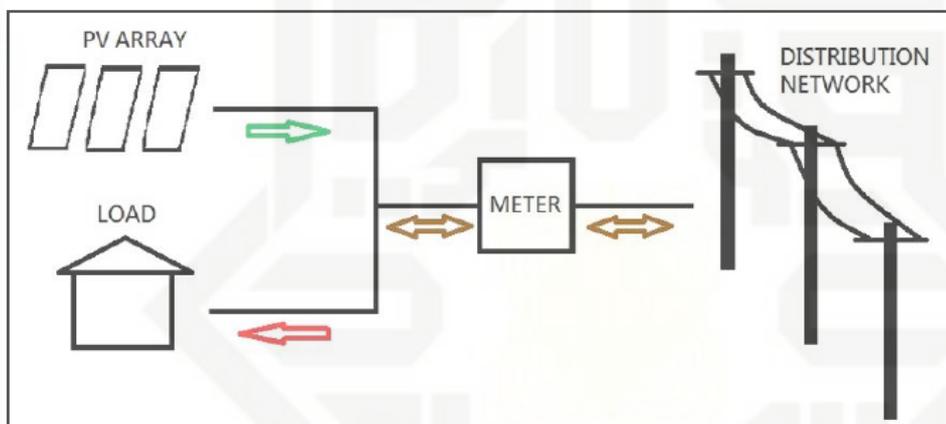


Gambar 2.20 Konfigurasi Meteran Bruto [24]

b. Meteran Neto

Meteran neto adalah pengaturan meteran di mana tenaga listrik yang dihasilkan oleh sistem PLTS pertama-tama dikonsumsi dulu di tempat dan yang diekspor ke jaringan hanya kelebihan daya dari PLTS setelah dikonsumsi di tempat ini. Nilai meteran “Neto” adalah jumlah tenaga listrik yang dihasilkan oleh pembangkit listrik PLTS dikurang total

konsumsi listrik. Apabila daya yang dihasilkan oleh pembangkit listrik PLTS melebihi konsumsinya, ada ekspor bersih/neto ke jaringan dan apabila konsumsi melebihi daya yang dihasilkan oleh pembangkit listrik PLTS ada impor bersih tenaga listrik.



Gambar 2.21 Konfigurasi meteran neto [24]

2.3 Pengertian Pompa

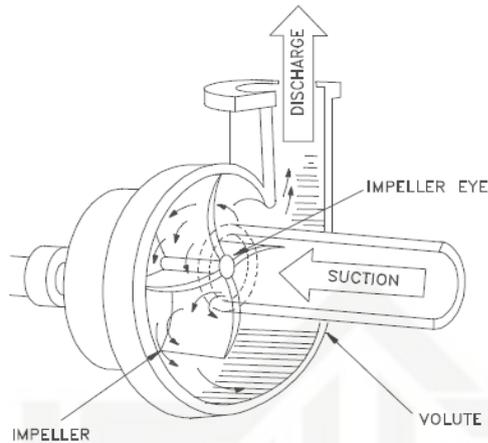
Pompa adalah suatu mesin yang digunakan untuk memindahkan fluida dari suatu tempat ke tempat lainnya, melalui suatu media saluran (pipa) dengan cara menambahkan energi pada cairan yang dipindahkan dan berlangsung secara kontinyu. Pompa beroperasi dengan mengadakan perbedaan tekanan antara bagian masuk dan bagian keluar. Dengan kata lain pompa berfungsi mengubah tenaga dari suatu tenaga (penggerak) menjadi tenaga tekanan dari fluida, dimana tenaga ini dibutuhkan untuk mengalirkan fluida dan mengatasi hambatan yang ada sepanjang saluran pengalir.

2.3.1 Tipe Pompa

Pompa konvensional yang menggunakan arus AC menggunakan listrik yang berasal dari jaringan utama atau generator. Biasanya pompa yang

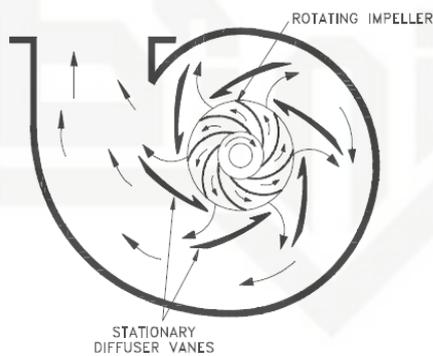
Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.



Gambar 2.22 Pompa Sentrifugal [25]

Beberapa pompa sentrifugal mengandung *diffusers*. Sebuah *diffuser* adalah seperangkat baling-baling stasioner yang mengelilingi *impeller*. Tujuan dari *diffuser* adalah untuk meningkatkan efisiensi pompa sentrifugal dengan memungkinkan ekspansi lebih bertahap dan mengurangi area turbulensi untuk cairan untuk mengurangi kecepatan.



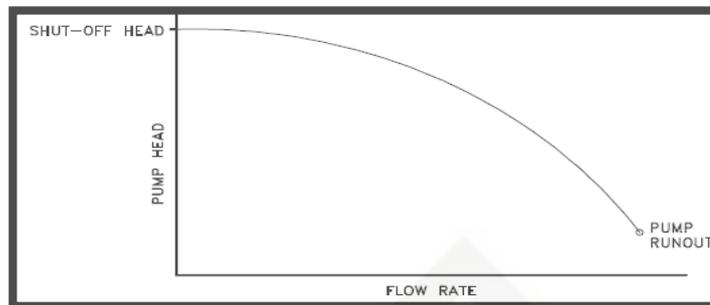
Gambar 2.23 *Diffuser* Pompa Sentrifugal [25]

Kurva Karakteristik Pompa

Pompa sentrifugal kurva karakteristik adalah alat yang menunjukkan bagaimana pompa akan melakukan dalam *head* dan aliran. Pada pompa sentrifugal pengiriman *head* tergantung pada laju aliran. Hubungan ini juga disebut kinerja pompa.

Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.



Gambar 2.24 Kurva Karakteristik Pompa Sentrifugal [25]

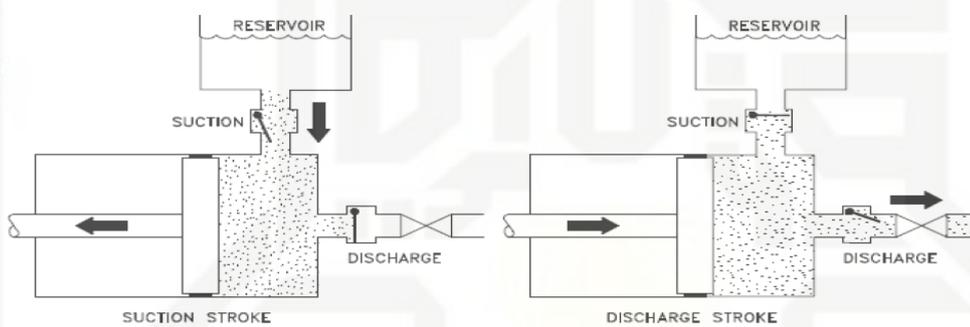
Pompa sentrifugal beroperasi pada kecepatan konstan, laju aliran yang melalui pompa tergantung pada tekanan diferensial atau *head* dari pompa. Semakin rendah pompa, semakin tinggi laju aliran. Setelah pompa dipasang di sistem, biasanya diuji untuk memastikan bahwa laju alir dan head pompa berada dalam spesifikasi yang dibutuhkan. Ada beberapa istilah terkait dengan pompa kurva karakteristik yang harus didefinisikan. *Shutoff head* adalah *head* maksimum yang dapat dihasilkan oleh pompa sentrifugal yang beroperasi pada kecepatan yang ditetapkan. Pompa *runout* adalah aliran maksimum yang dapat dihasilkan oleh pompa sentrifugal tanpa merusak pompa. Pompa sentrifugal harus dirancang dan dioperasikan untuk dilindungi dari kondisi pompa *runout* atau beroperasi pada *shutoff head* [25].

2.3.1.2 Pompa *Positive Displacement*

Pompa *Positive Displacement* (PD) memiliki prinsip yang berbeda dengan pompa sentrifugal dalam pengoperasiannya. Pompa *Positive Displacement* secara fisika menghisap sejumlah cairan yang menggunakan penghisap pompa dan mendorong air yang banyak itu keluar ke *discharge* pada pompa. Pompa *Positive Displacement* adalah satu-satunya pompa yang mengirimkan volume cair secara pasti untuk setiap siklus operasi pompa. Volume ini secara konstan terlepas dari perlawanan untuk aliran yang ditawarkan oleh sistem pompa tersebut, menyediakan kapasitas unit tenaga untuk menggerakkan pompa atau komponen pompa yang tidak melebihi batas kekuatannya. Pompa *Positive Displacement*

berbeda dari pompa sentrifugal, yang memberikan aliran secara terus-menerus untuk setiap kecepatan pompa yang diberikan dan hambatan *discharge* [25].

Pompa *Positive Displacement* dapat dikelompokkan menjadi tiga kategori dasar berdasarkan desain dan operasi. Tiga kelompok tersebut yaitu pompa piston, pompa putar, dan pompa diafragma. Semua Pompa *Positive Displacement* beroperasi pada prinsip dasar yang sama. Prinsip ini dapat ditunjukkan pada Gambar 2.12.



Gambar 2.25 Operasi Pompa *Reciprocating Positive Displacement* [25]

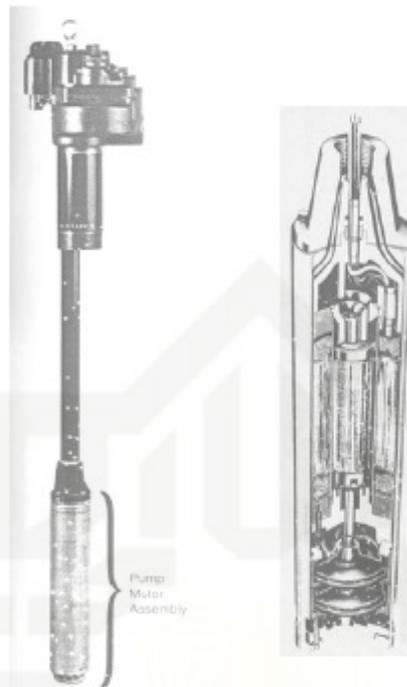
Seperti pada gambar 2.23 selama penghisapan, piston bergerak ke kiri, menyebabkan katup di garis hisap antara *reservoir* dan silinder pompa untuk membuka dan mengirimkan air dari penampungan. Selama pembuangan, piston bergerak ke kanan, menutup katup di garis hisap dan membuka katup di pembuangan. Volume cairan dipindahkan oleh pompa dalam satu siklus (satu penghisapan dan satu debit pembuangan) adalah sama dengan perubahan volume cairan dari silinder sebagai pistonnya bergerak dari posisi terjauh kiri ke posisi terjauh yang tepat.

Kurva Karakteristik Pompa *Positive Displacement*

Pompa *Positive Displacement* memberikan volume air yang pasti untuk setiap siklus operasi pompa. Oleh karena itu, satu-satunya faktor yang mempengaruhi laju aliran di Pompa *Positive Displacement* yang ideal adalah kecepatan pada saat beroperasi. Garis putus-putus pada Gambar 2.24 menunjukkan kinerja Pompa *Positive Displacement* yang sebenarnya. Garis tersebut mencerminkan fakta bahwa saat tekanan buang pompa meningkat,

Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.
2. Dilarang mengemukakan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.



Gambar 2.27 Petroleum Submersible Pump [5]

2.3.2.1 Sistem Pompa Hisap

Sudah dijelaskan bahwa pompa hisap masih banyak digunakan di beberapa SPBU di Indonesia sebagai pompa penyalur BBM. Sistem pompa hisap motor harus dilengkapi dengan Elbow Check Valve pada pipa distribusi BBM di tangki pendam dan letak motor penggeraknya merupakan satu kesatuan didalam dispenser seperti yang dijelaskan pada gambar 2.25. Pada prinsipnya pompa ini mempunyai sistem kerja sebagai berikut :

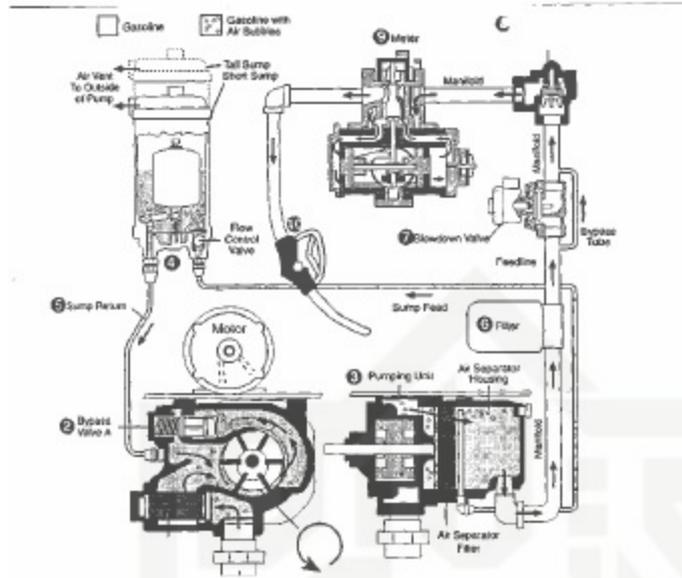
1. BBM masuk melalui Inlet pompa kemudian melewati Strainer Check Valve.
2. Bila tekanan melampaui batas, Bypass valve akan terbuka sehingga BBM terjadi sirkulasi BBM dalam pump unit.
3. BBM di dalam pump unit yang mengandung udara akan dialirkan menuju sump untuk dipisahkan antara udara dan BBM.
4. Setelah Udara dipisahkan dari BBM, BBM murni dialirkan kembali ke pump unit melalui sump return.

Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.

5. BBM murni dialirkan menuju Filter melalui outlet Pump Unit.
6. Setelah melalui penyaringan, BBM mengalir melalui Solenoid valve, yang terdiri dari slow down valve dan main valve.
7. Selanjutnya aliran BBM menuju badan ukur dengan terlebih dahulu menekan meter check valve kit, yang berfungsi untuk menjaga agar BBM dalam badan ukur selalu penuh.
8. Badan ukur / meter mengukur volume yang dikeluarkan, dengan metode pengukuran volume ruang gerak piston pada meter.
9. BBM keluar melalui nozzle sesuai dengan volume yang sudah ditera.

Pompa ini sudah banyak ditinggalkan karena disebabkan biaya perawatan yang terlalu mahal dan sering terjadi kerusakan pada motornya maupun komponen lainnya.



Gambar 2.28 Siklus Kerja Petroleum Pump [5]

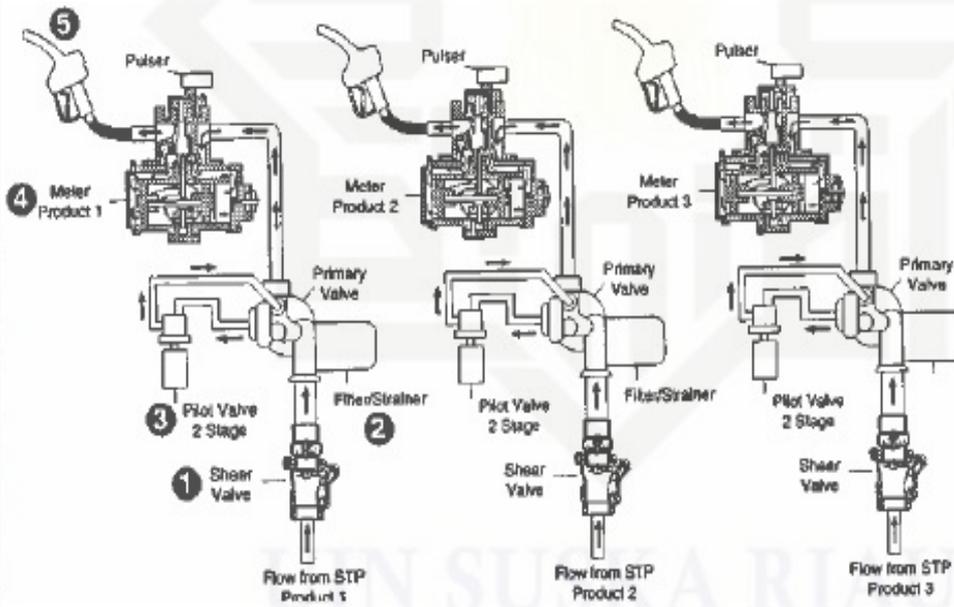
2.3.2.2 Sistem Pompa Dorong

Pompa dorong adalah pompa untuk meyalurkan fluida minyak yang tersimpan dalam tangki pendam yang dialirkan melalui pipa fleksible menuju dispenser dengan letak motor penggeraknya dicelupkan atau dibenam pada tangki pendam. Prinsip kerja dari pompa dorong tersebut adalah :

1. Pada sistem pompa dorong aliran BBM dimulai dari Submersible Turbine.
2. Pump yang mendorong BBM menuju Dispenser melalui Shear valve / Emergency Valve.
3. Kemudian BBM mengalir melalui filter.
4. Setelah melalui filter BBM mengalir melalui Solenoid Valve yang terdiri dari Slow Down Valve dan Main Valve.
5. Dari Solenoid Valve BBM mengalir ke Meter dengan terlebih dahulu menekan meter check valve kit.
6. Badan ukur / meter mengukur volume yang dikeluarkan, dengan metode pengukuran volume ruang gerak piston pada meter.
7. BBM dikeluarkan melali nozzle sesuai dengan volume yang sudah diukur.

Pompa ini mempunyai beberapa keunggulan dibandingkan dengan pompa hisap dimana perawatan yang disebabkan kerusakan sangat kecil, karena posisi pompa terpisah dengan dispenser. Pompa dan dynamo tercelup didalam tangki bahan bakar minyak sehingga dinamo tidak mudah panas dan tahan lama. Dalam pelaksanaannya pompa ini mempunyai beberapa keuntungan di antaranya :

1. Hemat biaya listrik, 1 unit pompa dapat melayani sampai dengan 4 selang nozzle.
2. Hemat pemipaan, 1 unit dapat melayani sampai dengan 2 unit pompa twin.
3. Dapat diparalel sampai dengan 3 tangki untuk jenis BBM yang sama (Syphon System).
4. Dilengkapi dengan leak detector untuk mendeteksi kebocoran pada pipa.



Gambar 2.29 Pompa Dengan Sistem Dorong [5]

2.4 Perancangan Sistem PLTS Grid-Connected

Dalam perancangan ada beberapa kriteria penentuan desain pada sistem Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) dan standar yang digunakan dalam

perancangan Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS). Ada beberapa tahap yang digunakan dalam penelitian ini yaitu:

2.4.1 Menentukan Penggunaan Standar

Dalam perancangan sistem *PV Grid Connected* merujuk pada panduan dari *Internasional Electrotechnical Commision* (IEC) 62.548 yang membahas standar semua teknologi elektrik atau teknologi terkait lainnya. Standar IEC meliputi berbagai teknologi mulai dari pembangkitan, transmisi, distribusi listrik dan hal terkait lainnya. IEC juga mengelola skema penilaian kesesuaian suatu perangkat, sistem atau komponen sesuai dengan standar internasional. Selain itu, IEC menerbitkan standar bersama IEEE (*Institute of Electrical and Electronics Engineers*) dan mengembangkan standar bersama ISO (*International Organization for Standardization*) dan ITU (*International Telecommunication Union*) [38].

Pada penelitian ini penggunaan *draft* IEC 62.548 digunakan pada penentuan drop tegangan, sistem proteksi, penggunaan kabel dan penentuan tegangan maksimum dari sistem agar dapat disesuaikan dengan standar internasional.

2.4.2 Penilaian Lokasi PLTS

Karakterisasi situs dan Penilaian Sebuah karakterisasi situs rinci memberikan informasi yang diperlukan untuk desain sistem PLTS . Bagian pertama dari penilaian situs adalah untuk mengkarakterisasi kondisi fisik lokasi PLTS: Menentukan lintang, bujur, ketinggian, orientasi atap, denah atap, menunjukkan atap yang digunakan untuk instalasi PLTS, menghitung total luas, kemiringan dan metode pemasangan.

2.4.3 Penilaian Radiasi Matahari

Ada dua sumber utama data untuk radiasi matahari di permukaan bumi yaitu pengukuran secara langsung dan perhitungan berdasarkan data satelit. Radiasi matahari adalah jumlah keseluruhan dari energi matahari yang diterima pada lokasi tertentu, biasanya dalam satuan kWh/m²/hari. Data insolasi matahari lebih digunakan untuk merancang sistem PLTS. Perhitungan radiasi matahari

Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:

- a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
- b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.

2. Dilarang mengemukakan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.

berdasarkan perhitungan secara global atau langsung yang diambil selama siang hari. Perhitungan biasanya menggunakan *pyranometer* atau *pyrheliometer*. Dibeberapa lokasi, data ini dikumpulkan lebih dari 25 tahun.

Dalam perhitungan berdasarkan data satelit yang terdapat pada *meteorological database*, termasuk *database online* yang memiliki informasi tentang radiasi matahari ini. Diantaranya adalah *Photovoltaic Geographical System* (PVGIS) dan *database* dari *Surface Meteorological and Solar Energy* (SMSE) dari NASA.

2.4.4 Analisa Shading

Sangat penting untuk memahami bayangan (*shading*) pada atap, terutama di daerah perkotaan di mana bangunan sekitarnya dan struktur dapat menghasilkan bayangan di atas atap. Bahkan sebagian kecil dari bayangan (*shading*) pada PLTS dapat secara signifikan mengurangi *output* energi yang dihasilkan. Idealnya, semua bagian atap harus tidak terdapat bayangan selama minimal 6 jam sehari antara itu 09:00-03:00. Analisis *shading* harus dilakukan untuk semua jam sinar matahari sepanjang tahun. Hal ini membantu dalam pemilihan lokasi terbaik untuk memasang modul surya dan memberikan estimasi yang lebih akurat dari output tahunan dari sistem PLTS.

2.4.5 Pemilihan Modul Surya

Ada tiga jenis utama dari modul surya PV yang tersedia di pasar komersial yaitu *monocrystalline*, *polycrystalline* dan *Thin film*. Pemilihan modul surya sangat penting dalam menentukan *design* sistem, pemilihan modul surya ditentukan berdasarkan efisiensi modul, area modul dan biaya.

2.4.6 Sistem Pemasangan (*Mounting System*)

Dua jenis utama dari sistem pemasangan PLTS yang digunakan yaitu sistem pemasangan di atap dan di tanah. Pada penelitian ini pemasangan yang digunakan di atap SPBU.

2.4.7 Pemilihan Inverter

Pemilihan inverter berkaitan dengan kapasitas modul yang terpasang. inverter mengubah listrik DC dari PV array surya untuk listrik AC dengan memaksimalkan output PLTS. Ada tiga jenis inverter surya umum digunakan *True Sine Wave Inverter*, *Square Wave Inverter*, dan *Grid Tie Inverter (GTI)*.

2.5 Hasil Produksi Energi Sistem PLTS

Energi listrik yang dihasilkan dari sistem PLTS ditentukan oleh beberapa faktor utama yaitu ukuran PV array, radiasi matahari dan efisiensi sistem pada PLTS

2.5.2 Menentukan Output dari PLTS ke *Grid-connected*

Dalam merancang sistem PLTS penting untuk dapat memperkirakan hasil energi dari sistem itu. Energi yang dihasilkan oleh sistem PLTS tergantung pada sejumlah faktor, yaitu Ukuran PLTS , Jumlah iradiasi yang diterima dan total efisiensi sistem. Output energi rata-rata dari array PV dapat dihitung dengan rumus berikut:

$$E_{array} = P_{stc} \times f_{man} \times f_{temp} \times f_{dirt} \times H_{tilt} \times N \quad (2.11)$$

Dimana:

- E_{array} = Rata-rata keluaran energi harian dari array PV (Wh)
- P_{STC} = Output daya dinilai modul STC (W)
- f_{temp} = Faktor Pengurangan Suhu, berdimensi
- F_{Man} = *De-rating* faktor untuk pembuatan toleransi,
- f_{dirt} = *De-rating* faktor untuk kotoran
- H_{tilt} = Iradiasi, di jam matahari puncak untuk orientasi tertentu dan sudut kemiringan. (1 PSH = 1 kWh / m²)
- N = Jumlah modul dalam array

2.5.3 Rasio Kinerja

Rasio kinerja (PR) didefinisikan sebagai rasio dari jumlah sebenarnya energi PV dikirim ke jaringan utilitas dalam jangka waktu tertentu dengan jumlah teoritis energi yang dihasilkan oleh modul PV di bawah kondisi uji standar (STC)

$$Rasio\ performa = \frac{\text{Hasil produksi energi}}{\text{Produksi energi teoritis}} \quad (2.12)$$

2.5.4 Faktor kapasitas (*Capacity Faktor*)

Faktor kapasitas / *Capacity Faktor* Pembangkit listrik adalah rasio output aktual dari pembangkit listrik *Capacity factor* selama periode waktu dan output potensial jika telah beroperasi pada kapasitas penuh sepanjang waktu. Secara matematis, faktor kapasitas adalah jumlah total energi pabrik yang dihasilkan selama periode waktu dibagi dengan jumlah energi PLTS akan menghasilkan pada kapasitas penuh. Faktor kapasitas sangat bervariasi tergantung pada jenis bahan bakar yang digunakan dan desain pabrik. Hal ini juga menyediakan alat untuk perbandingan kinerja dari berbagai jenis pembangkit listrik.

$$Capacity\ factor = \frac{\text{Hasil produksi energi}}{\text{kapasitas PV} \times \frac{365\ \text{day}}{\text{year}} \times 24\ \text{h/day}} \quad (2.13)$$

2.5.5 *Feed in Tariff* (FiT)

Feed in Tariff adalah harga jual listrik dari pembangkit non PLN (rumah tangga atau swasta kepada PLN). Terdapat dua perbedaan pada FiT, yaitu:

1. Gross FiT: seluruh listrik yang dihasilkan, terlepas apakah digunakan oleh pelanggan atau di ekspor.
2. Net FiT: Tarif ini digunakan hanya untuk listrik yang di ekspor kepada PLN.

Menghitung biaya listrik pertahun tergantung pada harga listrik yang diterapkan saat itu. Karena jika perkiraan harga listrik meningkat, sistem periode uang kembali juga semakin berkurang.

Harga jual listrik telah ditetapkan oleh PLN, tertuang pada Peraturan Menteri Energi dan Sumber Daya Mineral Republik Indonesai Nomor 17 tahun 2013 tentang Pembelian Tenaga Listrik oleh PT Perusahaan Listrik Negara (Persero) dari Pembangkit Listrik Tenaga Surya Fotovoltaic pada Bab II pasal 3 yang berbunyi:

“Pembelian tenaga listrik dari PLTS Fotovoltaik sebagaimana dimaksudkan dalam pasal 2 untuk semua kapasitas terpasang ditetapkan dengan harga patokan tertinggi sebesar US\$ 25 sen/kWh (dua puluh lima sen dolar Amerika serikat per

kilo watt hour) = 3.271 rupiah”.Namun, tarif yang tersebut diatas adalah tarif untuk pemasangan PLTS *off-grid* atau skala besar. Penggunaan sistem solar panel yang tersambung dengan jaringan PLN menggunakan konsep Net Metering. Di Indonesia, penggunaan Net Mering terdapat dalam dalam peraturan 0733.K/DIR/2013 yang mewajibkan PLN untuk mengkreditkan energi yang dihasilkan oleh tenaga surya ke rekening pelanggan.\

2.6 Analisa Ekonomi

Analisis ekonomi kelayakan perancangan Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) sebagai energi penggerak pompa minyak Stasiun Pengisian Bahan Bakar Umum (SPBU) dilakukan dengan menggunakan metode *Life Cycle Cost* (LCC), *Net Present Value* (NPV) dan *Payback Periode* (PBP).

2.6.1 *Life Cycle Cost* (LCC)

Pada dasarnya LCC akan menghitung total biaya yang dikeluarkan selama umur investasi yang telah ditentukan, mulai dari biaya investasi awal, biaya operasional (*operational cost*) dan biaya perawatan (*maintenance cost*). Biaya yang akan dihitung adalah biaya investasi dari Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS), penggunaan listrik PLN dan investasi mesin diesel (termasuk penggunaan bahan bakar dalam setahun).

2.6.1.1 Biaya Investasi Awal

Biaya investasi awal adalah biaya yang dikeluarkan untuk membangun sebuah sistem hingga siap digunakan. Biaya ini biasanya dikeluarkan diawal-awal pembangunan dalam jumlah yang relatif besar dan berdampak jangka panjang. Salah satu contoh investasi awal adalah biaya keseluruhan bahan baku sistem, biaya pekerja, dan lain-lain [26].

2.6.1.2 Biaya Operasional

Biaya operasional (*operational cost*) adalah biaya yang dikeluarkan setelah sistem sudah siap digunakan. Biaya ini biasanya dikeluarkan secara rutin atau periodik waktu tertentu dalam jumlah yang relatif sama [26].

2.6.1.3 Biaya Perawatan

Biaya perawatan (*maintenance cost*) adalah biaya yang dikeluarkan dalam rangka menjaga/menjamin *performance* agar selalu prima dan siap untuk dioperasikan. Contohnya adalah biaya untuk mengganti salah satu alat pendukung sistem apabila terjadi kerusakan [26].

2.6.2 Cash Flow

Pemilikan dan pengoperasian sebuah peralatan akan menimbulkan penerimaan-penerimaan (pendapatan) dan pengeluaran (pengeluaran). Pendapatan disebut dengan *cash flow benefit* dan biaya-biaya atau pengeluaran disebut dengan *cash flow cost* [33].

1. Cash Flow benefit (CFB)

CFC didapatkan dari pelayanan-pelayanan yang disumbangkan peralatan selama umur pelayanannya dan dari penjualannya pada akhir umur pelayanannya. Menghitung nilai CFB dengan rumus berikut:

$$CFB = \sum_{t=0}^n Cost(1 + 0,08) \dots\dots\dots (2.14)$$

2. Cash flow cost (CFC)

CFC adalah biaya-biaya yang timbul, ada yang terjadi hanya sekali atau tidak berulang (*nonrecurring*) selama umur peralatan dan ada yang berulang selama umurnya untuk mengoperasikan dan memeliharanya. Menghitung nilai CFC dapat menggunakan rumus berikut:

$$CFC = \sum_{t=0}^n investasi - PWF \dots\dots\dots (2.15)$$

2.6.3 Net Present Value (NPV)

NPV adalah metode yang digunakan untuk menghitung nilai bersih pada waktu sekarang. Perhitungan dengan metode ini terdiri dari *Cash Flow Benefit* (CFB) dan *Cash Flow Cost* (CFC). Menentukan NPV menggunakan rumus berikut [26].

$$NPV = \sum_{t=0}^n CFB - CFC \dots\dots\dots (2.16)$$

Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.

2.6.4 Payback Periode (PBP)

PBP dapat juga disebut dengan metode pengembalian sederhana merupakan sebuah metode yang digunakan untuk menghitung ekonomi dari PLTS *on-grid*.

Rumus yang digunakan adalah [16] :

$$T = \frac{C}{S} \dots\dots\dots (2.17)$$

Dimana:

T = periode dana kembali, selama 1 tahun

C = biaya modal awal bersih PLTS (biaya sistem dan kredit telah dikurangi)

S = biaya energi listrik yang terjual

