

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Penelitian sebelumnya

Dari penelitian sebelumnya yang membahas tentang penerapan Sistem Pembangkit Listrik Tenaga Surya cukup banyak yang telah melakukan. Pada penelitian yang dilakukan Oleh M.Hariansyah pada tahun 2009, telah dilakukan Studi Perencanaan Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) Kapasitas 25 kWp, Untuk merencanakan PLTS 25 kWp, dibutuhkan modul surya sebanyak 126 unit, dengan susunan modul seri sebanyak 9 modul, dibagi menjadi 14 group, menghasilkan tegangan 342 volt, dan arus 78,5 A, dengan daya maksimum 25,4 kWp.(M.Hariansyah, 2009)

Pada penelitian yang dilakukan oleh Anwar Ilmar Ramadhan dkk pada tahun 2016, telah dilakukan Analisis Desain Sistem Pembangkit Listrik Tenaga Surya Kapasitas 50 WP, posisi sudut kemiringan modul surya saat mengikuti arah pergerakan matahari menghasilkan tegangan rata-rata rangkaian terbuka (V_{oc}) 18,27 V dan arus rata-rata hubungan singkat (I_{oc}) 2,49 A; dan posisi tegak lurus (horizontal) menghasilkan tegangan rata-rata rangkaian terbuka (V_{oc}) 19,67 V; sementara itu arus rata-rata hubungan singkat (I_{oc}) 1,40 A; (b) Posisi sudut kemiringan modul surya saat mengikuti arah pergerakan matahari menghasilkan Daya Keluaran (P_{out}) sebesar 38,24 W dan posisi tegak lurus (horizontal) menghasilkan Daya Keluaran (P_{out}) 21,91 W. (Anwar Ilmar Ramadhan dkk, 2016)

Pada penelitian Skripsi ini membahas tentang Perancangan Pembangkit Listrik Tenaga Surya dengan Kapasitas 27 kWp di Kota Cilacap, untuk merencanakan Pembangkit Listrik Tenaga Surya dibutuhkan Modul Surya sebanyak 90 modul yang terdiri dari susunan seri 10 Modul dan Susunan Paralel 9 Modul. Potensi yang dihasilkan di Kota Cilacap selatan yaitu sebesar $3.524 \text{ kWh} / \text{m}^2$ per day. Pemodelan simulasi menggunakan PSIM untuk mengetahui karakteristik panel surya merk *Shinyoku* 300 WP dengan Intensitas Cahaya $SO = 1000 \text{ W} / \text{m}^2$, Temperature Suhu 25°C Menghasilkan Daya Maksimum $P_{max} = 300.08 \text{ WP}$, Tegangan Maksimum $V_{max} = 35.36 \text{ V}$ dan Arus Maksimum $I_{max} = 8.49 \text{ A}$. Pemodelan simulasi menggunakan ETAP hasil yang didapatkan menunjukkan bahwa besarnya daya yang dihasilkan *photovoltaic* sebesar $27 + j10$ atau 27 KW dan 10 VAR. sehingga untuk beban 1 sebesar 25.6 kVA disuplai dari etap sebesar $22 + j8$ atau 22 KW dan 8 VAR. Sedangkan, beban 2 dengan kapasitas 6.1 kVA disuplai daya sebesar $5 + j3$ atau 5 KW dan 3 VAR.

2.2 Dasar Teori

Energi baru dan yang terbarukan mempunyai peran yang sangat penting dalam memenuhi kebutuhan energi. Hal ini disebabkan penggunaan bahan bakar untuk pembangkit-pembangkit listrik *konvensional* dalam jangka waktu yang panjang akan menguras sumber minyak bumi, gas dan batu bara yang makin menipis dan juga dapat mengakibatkan pencemaran lingkungan. Salah satunya upaya yang telah dikembangkan adalah Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS). PLTS atau lebih dikenal dengan sel surya (*Sel fotovoltaik*) akan lebih diminati karena dapat digunakan untuk berbagai keperluan yang relevan dan di berbagai tempat seperti perkantoran, pabrik, perumahan, dan lainnya. Di Indonesia yang merupakan daerah tropis mempunyai potensi energi matahari sangat besar dengan insolasi harian rata-rata 4,5 - 4,8 KWh/m² / hari. Akan tetapi energi listrik yang dihasilkan sel surya sangat dipengaruhi oleh intensitas cahaya matahari yang diterima oleh sistem. Untuk kekontinuan ketersediaan listrik dan pemanfaatan energi listrik sel surya secara maksimal sangat diperlukan hibridasi dengan jala-jala listrik PLN. (LiemEk Bien dkk, 2008)

2.3 Photovoltaic

Modul surya (*Photovoltaic*) adalah sejumlah sel surya yang dirangkai secara seri dan paralel, untuk meningkatkan tegangan dan arus yang dihasilkan sehingga cukup untuk pemakaian sistem catu daya beban. Untuk mendapatkan keluaran energi listrik yang maksimum maka permukaan modul surya harus selalu mengarah ke matahari. Komponen utama sistem surya Potovoltaik adalah modul yang merupakan unit rakitan beberapa sel surya *Photovoltaic*.

Untuk membuat modul *Photovoltaik* secara pabrikasi bisa menggunakan teknologi kristal dan thin film. Modul *Photovoltaik* kristal dapat dibuat dengan teknologi yang relatif sederhana, sedangkan untuk membuat sel *Photovoltaic* diperlukan teknologi tinggi. Modul *Photovoltaic* tersusun dari beberapa sel *Photovoltaic* yang dihubungkan secara seri dan paralel. Biaya yang dikeluarkan untuk membuat modul sel surya yaitu sebesar 60% dari biaya total. Jadi, jika modul sel surya itu bisa diproduksi di dalam negeri berarti akan bisa menghemat biaya pembangunan PLTS. (Togar Timotheus Gultom, 2007)

Bahan sel surya sendiri terdiri kaca pelindung dan material *adhesive* transparan yang melindungi bahan sel surya dari keadaan lingkungan, material anti-refleksi untuk menyerap lebih banyak cahaya dan mengurangi jumlah cahaya yang dipantulkan, semi-konduktor P-type dan N-type (terbuat dari campuran Silikon) untuk menghasilkan medan listrik, saluran awal dan saluran akhir (terbuat dari logam tipis) untuk mengirim electron ke perabot listrik. Cara kerja sel surya sendiri sebenarnya identik dengan piranti semikonduktordioda. Ketika cahaya bersentuhan dengan sel surya dan diserap oleh bahan *semi-konduktor*, terjadi pelepasan elektron. Apabila elektron tersebut bisa menempuh perjalanan menuju bahan *semi-konduktor* pada lapisan yang berbeda, terjadi perubahan sigma gaya-gaya pada bahan. Gaya tolakan antar bahan semi-konduktor, menyebabkan aliran medan listrik



Gambar 2.1 Modul Solar Cell (Togar Timotheus Gultom, 2007)

2.4 Bagian-bagian dari PLTS secara umum

2.4.1 Sub sistem generator *Photovoltaic*

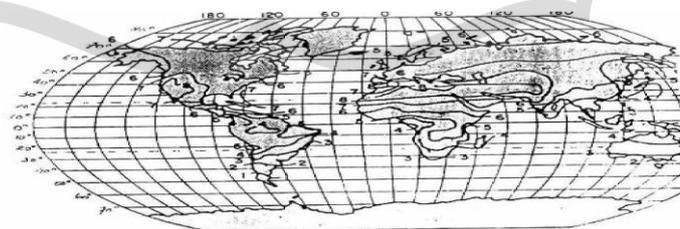
(Sistem Energi Surya *Photovoltaic*) dikenal dengan istilah generator *Photovoltaic* yang berfungsi mengubah rediasi matahari menjadi listrik secara langsung (*direct conversion*). Besar energi listrik yang dihasilkan oleh *SESF* tergantung pada intensitas rediasi matahari setempat merupakan suatu sub sistem yang berfungsi mengubah intensitas matahari menjadi listrik. Sub sistem generator *Photovoltaic* pada umumnya terdiri dari serangkaian modul – modul *Photovoltaic* yang terpasang secara kombinasi seri dan paralel tergantung pada tegangan dan daya kerja yang dibutuhkan. Modul *Photovoltaic* terdiri atas susunan sel surya atau sel *Photovoltaic* yang dirangkai secara seri, paralel, ataupun gabungan seri dan paralel. Sel *Photovoltaic* yang banyak digunakan pada umumnya jenis teknologi kristal dan berbasis Silikon. (Putu Yudi A.P, 2007)

2.4.2 Sub Sistem Pengaturan

Sub sistem pengaturan berfungsi memberikan pengaturan dan pengamanan dalam suatu PLTS sedemikian rupa sehingga sistem pembangkit tersebut dapat bekerja secara efisien dan handal. Peralatan pengaturan didalam Sistem Pembangkit Listrik Tenaga Surya ini dapat dibuat secara manual, yaitu dengan cara selalu menepatkan kearah matahari, atau dapat juga dibuat secara otomatis, mengingat sistem ini banyak dipergunakan untuk daerah terpencil. Otomatis ini dapat dilakukan dengan menggunakan rangkaian elektronik. Adapun beberapa peralatan pengatur yang biasanya digunakan, diantaranya :

a. *Trackers*

Trackers berguna untuk membenarkan posisi penghadapan panel surya ke matahari. Naibaho (1994:4) menyatakan bahwa pemasangan panel surya yang mudah dan murah adalah dengan memasang panel surya dengan posisi tetap dengan sudut kemiringan tertentu. Untuk menentukan arah sudut kemiringan panel surya harus disesuaikan dengan letak geografis lokasi pemasangan panel tersebut. Letak geografis Indonesia berada antara 0° sampai 10° terhadap LU (lintang Utara) dan LS (Lintang Selatan), hal ini dapat kita lihat pada Gambar 2.2



Gambar 2.2 Letak Geografis Indonesia. (Putu Yudi A.P, 2007)

Dilihat dari letak geografis Indonesia (Gambar 2.2 maka peletakan dan sudut kemiringan panel surya yang paling banyak menyerap sinar matahari adalah mengarah ke posisi khatulistiwa. Untuk sudut kemiringan rata – rata pemasangan panel surya di wilayah Indonesia bagian utara khatulistiwa adalah sebesar 10° LU. Dan untuk sudut kemiringan rata – rata pemasangan panel surya di wilayah Indonesia bagian selatan khatulistiwa adalah sebesar 10° LS. (Putu Yudi A.P, 2007)

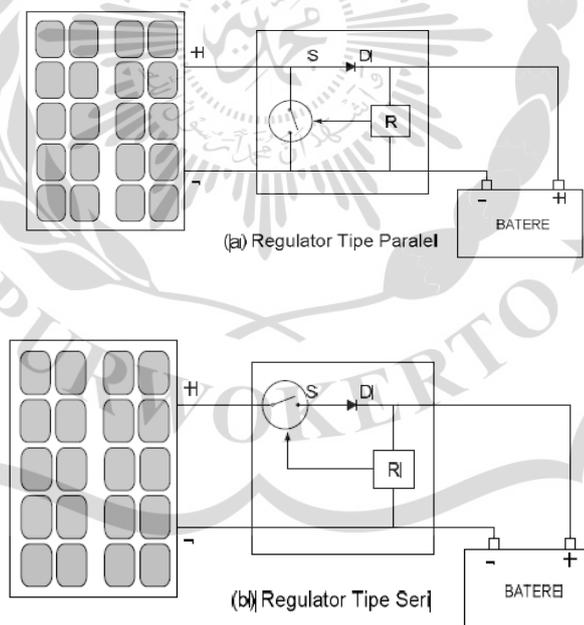
b. Regulator

Regulator merupakan suatu peralatan yang dilengkapi dengan rangkaian elektronik yang berfungsi untuk pengaturan arus pengisian batere (penyimpanan) secara otomatis. Primantara (1994:1) juga menyatakan bahwa pekerjaan Pengaturan kapan batere harus diisi, kapan pengisiannya harus dihentikan dan kapan hubungan ke beban harus diputus ini dikerjakan secara otomatis dengan menggunakan alat yang disebut regulator. Primantara (1994:1) menyatakan bahwa pada dasarnya ada dua jenis regulator yang digunakan pada sistem PLTS, yaitu :

1. Regulator Paralel.
2. Regulator Seri.

Prinsip regulator tipe paralel mempunyai saklar pemutus elektronik pada proses pengisian dipasang secara paralel diantara modul dan baterai. Cara kerjanya adalah jika tegangan pada batere lebih kecil dari tegangan panel surya, maka arus listrik dari panel surya akan mengalir menuju batere (mengisi batere). Jika muatan batere telah penuh atau tegangan pada dioda *Schottkynol* / seimbang, maka proses pengisian batere selesai. Karena muatan pada batere telah penuh maka regulator akan bekerja untuk menghidupkan sakelar elektronik.

Dimana jika sakelar elektronik pada rangkaian ON maka aliran listrik tidak akan mengalir ke baterai. Untuk regulator tipe seri saklar elektronik dipasang secara seri antara modul dan baterai. Cara kerjanya adalah saat muatan pada batere lemah / kosong maka rangkaian regulator akan bekerja untuk menggerakkan sakelar elektronik yang dipasang seri antara panel, dioda *Schottky* dan batere. Jika muatan pada baterai penuh, maka regulator akan bekerja untuk memutuskan sakelar elektronik. Regulator tipe paralel dan seri ini dapat dilihat pada Gambar 2.3 Pada umumnya regulator tipe seri banyak digunakan pada rangkaian keluaran untuk melindungi agar baterai tidak digunakan melebihi batas yang telah ditentukan, yaitu batas terendah pengosongan yang diijinkan (sebesar 10.5 Volt untuk batere 12 Volt). (PutuYudiA.P, 2007) Regulator seri digunakan untuk melindungi baterai diperlihatkan pada Gambar 2.3



Gambar 2.3 Jenis Regulator. (PutuYudiA.P, 2007)

Konfigurasi Pemasangan *Battery* Baterai digunakan dalam sistem PLTS off-grid untuk menyimpan energi yang dihasilkan oleh modul *Photovoltaic* di siang hari, lalu memasok ke beban di malam hari atau saat cuaca berawan. Baterai bertindak sebagai penyimpan energi sementara (*buffer*) untuk mengatasi perbedaan antara pasokan listrik dari modul fotovoltaik dan permintaan listrik.

Komponen ini merupakan salah satu komponen yang penting dan sekaligus rentan dalam sistem PLTS off-grid. Desain yang kurang baik atau ukuran baterai yang tidak tepat dapat mengurangi umur pakai yang diharapkan, berkurangnya energi, kerusakan, hingga bahaya keselamatan pada pengguna. Baterai memiliki keterbatasan umur pakai yang bergantung pada perilaku penggunaan serta temperatur pengoperasian.

c. *Inverter*

Inverter adalah rangkaian / alat yang dapat membalikkan harga *input* atau *output*. *Inverter* adalah peralatan listrik yang dapat mengubah arus searah (DC) menjadi arus bolak – balik (AC). (Putu Yudi A.P, 2007)

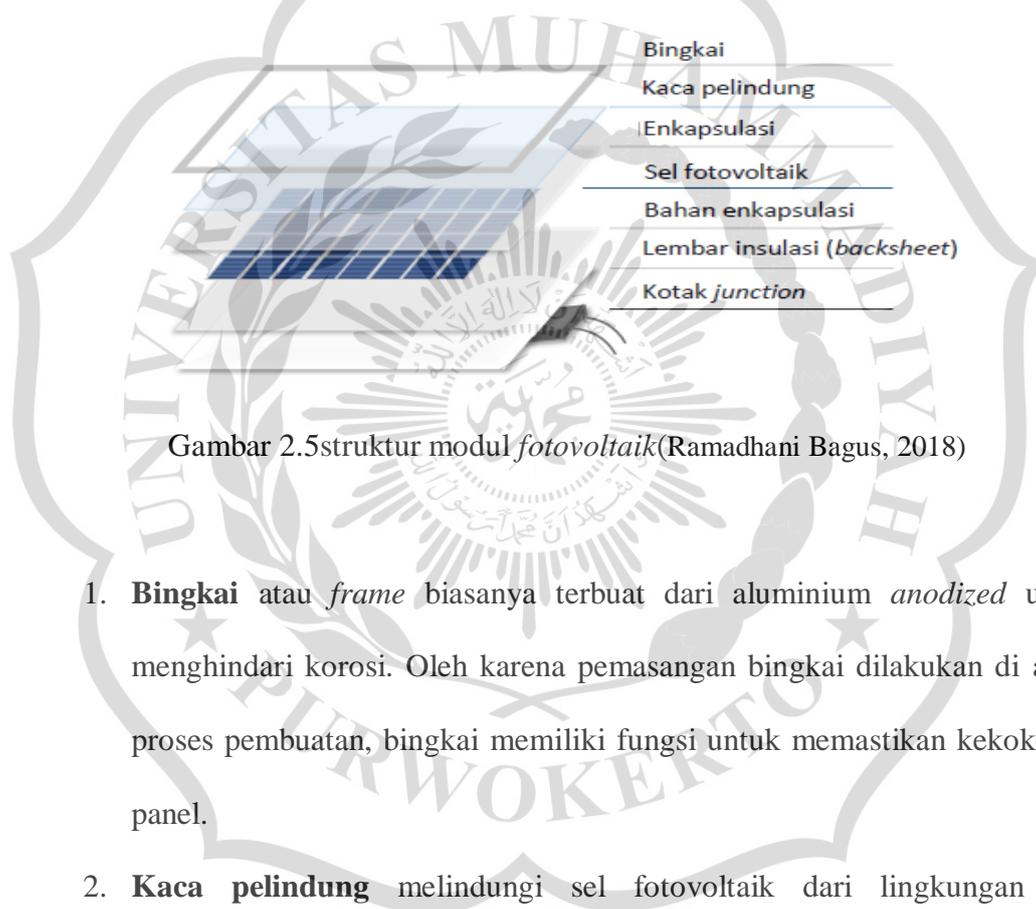
2.4.5 Sub Sistem Penyimpanan

Sub sistem penyimpanan ini merupakan bagian dari PLTS yang berfungsi sebagai penyimpanan energi yang diperlukan pada malam hari atau pada saat intensitas cahaya matahari rendah. Sub sistem penyimpanan pada dasarnya hanya diperlukan untuk PLTS yang dirancang untuk operasi pada malam hari atau PLTS yang harus memiliki kesetabilan daya keluaran yang tinggi. (Putu Yudi A.P, 2007)

2.4.4 Sub Sistem Beban

Merupakan bagian akhir dari suatu PLTS *Photovoltaic* yang berfungsi untuk mengkonversi listrik yang dibangkitkan menjadi bentuk energi akhir, seperti : mekanikal, penerangan dan termal / pendingin. Pada perencanaan sistem pembangkitan ini perlu diperhitungkan kebutuhan energi dari konsumen / beban sehingga dapat diperkirakan kapasitas beban harian guna penentuan besarnya kapasitas dari Panel Surya *Photovoltaic*. (Putu Yudi A.P, 2007)

2.4.5 Struktur sebuah modul *fotovoltaik*

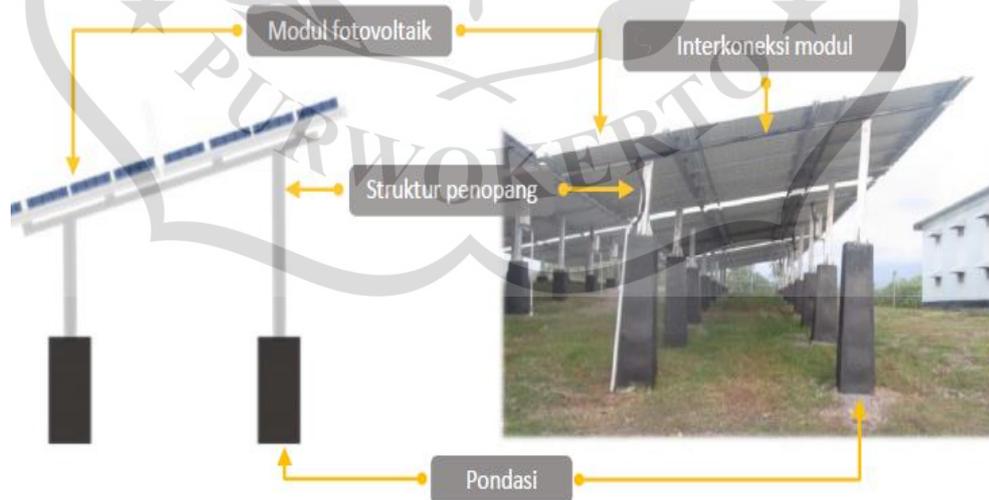


Gambar 2.5 struktur modul *fotovoltaik* (Ramadhani Bagus, 2018)

1. **Bingkai** atau *frame* biasanya terbuat dari aluminium *anodized* untuk menghindari korosi. Oleh karena pemasangan bingkai dilakukan di akhir proses pembuatan, bingkai memiliki fungsi untuk memastikan kekokohan panel.
2. **Kaca pelindung** melindungi sel fotovoltaik dari lingkungan dan memastikan kekokohan panel. Karena fungsinya tersebut, kaca pelindung mengambil proporsi tertinggi dari total berat modul fotovoltaik.
3. **Enkapsulasi atau laminasi** adalah lapisan antara sel fotovoltaik dan kaca pelindung. Laminasi digunakan untuk mencegah kerusakan mekanis pada sel fotovoltaik dan mengisolasi tegangan dari sel fotovoltaik dengan

bagian modul lainnya. Biasanya lembaran laminasi menggunakan bahan *ethylene-vinyl acetate* (EVA).

4. **Sel fotovoltaik** merupakan komponen utama dari modul *fotovoltaik*. Sel ini terbuat dari bahan semikonduktor yang menangkap sinar matahari dan mengubahnya menjadi listrik. Sel-sel saling terhubung secara seri untuk mendapatkan tegangan total yang lebih tinggi melalui kawat *busbar*. Bahan yang digunakan untuk sel fotovoltaik umumnya adalah silikon, seperti *polycrystalline* dan *monocrystalline*.
5. **Lembar insulasi (*backsheet*)** terbuat dari bahan plastik untuk melindungi dan secara elektrik mengisolasi sel-sel dari kelembaban dan cuaca.
6. **Kotak penghubung (*junction box*)** digunakan sebagai terminal penghubung antara serangkaian sel fotovoltaic ke beban atau ke panel lainnya. Perangkat ini berisi kawat busbar dari rangkaian sel fotovoltaic, kabel dan *bypass diode*. (Ramadhani Bagus, 2018)

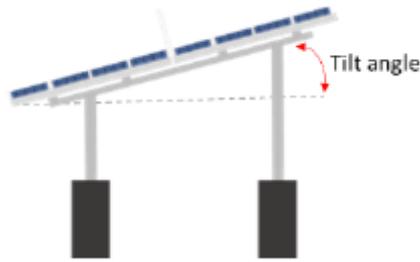


Gambar 2.6 rangkaian modul *fotovoltaik* (Ramadhani Bagus, 2018)

Modul *Photovoltaic* adalah satu komponen yang paling penting dalam sistem PLTS . Modul *Photovoltaic* mengubah radiasi sinar matahari menjadi energi listrik melalui proses fotoelektrik. Instalasi rangkaian modul *Photovoltaic* sendiri terdiri dari komponen - komponen sebagai berikut

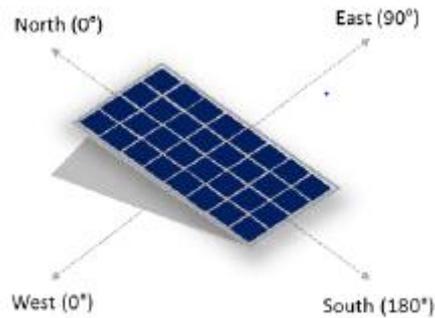
1. **Modul *Photovoltaic*** adalah rangkaian beberapa sel *Photovoltaic* yang terhubung secara seri.
2. **Interkoneksi modul *Photovoltaic*** adalah interkoneksi listrik untuk mengakumulasi daya keluaran dari modul *Photovoltaic* yang saling terhubung.
3. **Struktur penopang** adalah struktur pemasangan yang menopang modul *Photovoltaic* dan menentukan sudut kemiringan, azimuth, dan ketinggian rangkaian modul *Photovoltaic*.
4. **Pondasi** digunakan sebagai anchor struktur pemasangan ke dalam tanah. Bahan yang digunakan untuk pondasi harus berkualitas baik dan tertanam secara dalam agar memiliki sistem yang stabil.

2.4.6 Menentukan arah hadap rangkaian modul *Photovoltaic*



Gambar 2.7 sudut kemiringan *Photovoltaic*. (Ramadhani Bagus, 2018)

Sudut kemiringan atau sudut inklinasi ditentukan oleh garis lintang lokasi. Di tempat yang terletak di dekat khatulistiwa seperti Indonesia, datangnya sinar matahari hampir tegak lurus. Oleh karena itu, sudut kemiringan 0° adalah sudut yang paling optimal untuk menangkap radiasi langsung. Namun demikian, sudut 0° atau sudut yang relatif datar dapat menyebabkan genangan air atau penumpukan debu di permukaan panel. Oleh karena itu, dianjurkan untuk menempatkan modul fotovoltaik dengan sudut kemiringan minimal 10° untuk mendapatkan mekanisme pembersihan diri, terutama di saat hari hujan. Di tempat dimana ketinggian matahari bervariasi sepanjang tahun, sudut optimal untuk mempertahankan kinerja tinggi ditentukan berdasarkan rata-rata ketinggian matahari di musim yang berbeda. Sudut kemiringan dapat diukur dengan menggunakan klinometer atau busur derajat. (Ramadhani Bagus, 2018)



Gambar 2.8 sudut *azimut* (Ramadhani Bagus, 2018)

Sudut *azimut* juga dikenal sebagai arah datangnya sinar matahari. Modul *Photovoltaic* harus diatur arah hadapnya untuk menghadap khatulistiwa agar mendapatkan hasil energi yang optimal. Karena azimuth berbeda-beda menurut garis lintang dan waktu, di belahan bumi utara dimana garis lintang di atas 0° , arah hadap optimal modul *Photovoltaic* adalah 180° atau menghadap ke selatan. Di belahan bumi selatan atau di bawah garis khatulistiwa, modul *Photovoltaic* harus menghadap ke utara atau 0° . Arah hadap boleh menyimpang hingga 45° ke timur atau barat tanpa secara signifikan mengurangi energi yang dihasilkan. Koordinat lokasi dapat ditentukan dengan menggunakan GPS (*General/Global Positioning System*) genggam. Setelah garis lintang diketahui, arah hadap rangkaian modul *fotovoltaik* dapat ditentukan. Kompas dapat digunakan untuk menentukan sudut *azimut* yang benar. (Ramadhani Bagus, 2018.)

2.5 Perhitungan Perencanaan PLTS

Banyaknya jumlah modul yang diperlukan dalam suatu perencanaan ditulis:

$$n = \frac{P_R}{P_M} \dots\dots\dots(2.1)$$

Dimana :

P_R : Daya PLTS yang direncanakan (kWp)

P_M : Daya PV (Wp) / modul

Menentukan hubungan PV yang dipasang seri, merupakan kebutuhan tegangan input inverter ($V_{inverter}$) dibagi dengan tegangan output dari PV ($V_{out PV}$) maka :

$$PV_{Seri} = \frac{V_{inInverter}}{V_{outPV}} \dots\dots\dots(2.2)$$

Menentukan jumlah PV yang dipasang paralel, Hubungan PV yang dipasang paralel terhadap kebutuhan arus masukan inverter, menggunakan Hukum Khirchoff II (Hayt Jr WH, 1990). Didefinisikan arus maksimum dari inverter (I_{INV}), dibagi dengan arus yang (I_{PV}) keluar dari PV, maka:

$$PV_{Paralel} = \frac{I_{inverter}}{I_{PV}} \dots\dots\dots(2.3)$$

Besar tegangan output dan arus output dari modul yang dipasang seri dilakukan dengan analisisnya, hukum Khirchoff (Hayt Jr .WH, 1990). Sehingga tegangan dan arus listrik yang dihasilkan dari modul yang disusun seri dirumuskan:

$$I_T = I_1 = I_2 = I_3 \dots\dots\dots = I_n \dots\dots\dots(2.4)$$

$$V_T = V_1 + V_2 + \dots\dots\dots + V_n \dots\dots\dots(2.5)$$

Dimana I_1, I_2, I_3 s/d I_n : adalah arus yang keluar pada masing-masing modul
 V_1, V_2, V_3 s/d V_n : adalah Tegangan yang keluar pada masing-masing modul.

Dan daya maksimum yang di hasilkan dirumuskan:

$$P = I_M \times V_M \dots \dots \dots (2.6)$$

Dimana I_M = Arus Maksium dari PV

V_M = Tegangan Maksimum dari PV

2.6 Luas Penampang Penghantar

Luas penampang hantaran yang harus digunakan pertama – tama ditentukan oleh kemampuan hantar arus yang diperlukan dan suhu keliling yang harus diperhitungkan. Selain itu harus juga diperhatikan rugi tegangannya. Menurut ayat 413 A5 PUIL 1997, rugi tegangan antara perlengkapan hubung bagi utama yaitu yang dekat dengan kWh-meter PLN dan setiap titik beban pada keadaan stasioner dengan beban penuh, tidak boleh melebihi 5% dari tegangan di perlengkapan hubung bagi utama.

Kemampuan Hantar Arus (KHA) adalah arus maksimum yang dapat dialirkan dengan kontinyu oleh penghantar pada keadaan tertentu tanpa menimbulkan kenaikan suhu yang melampaui nilai tertentu. Dalam menentukan nilai KHA harus berdasarkan arus nominal yang mengalir pada penghantar tersebut. Untuk menghitung arus nominal dapat diperoleh dari persamaan berikut:

$$\text{Arus searah (DC)} \quad I_n = \frac{P}{V} \text{ A} \dots\dots\dots(2.7)$$

$$\text{Arus bolak-balik (AC) 1 fasa} \quad I_n = \frac{P}{V \times \cos\phi} \text{ A} \dots\dots\dots(2.8)$$

$$\text{Arus bolak-balik (AC) 3 fasa} \quad I_n = \frac{P}{\sqrt{3} \times V \times \cos\phi} \text{ A} \dots\dots\dots(2.9)$$

Keterangan I_n = Arus Nominal (Ampere)

P = Daya (Watt)

V = Tegangan (Volt)

$\cos \phi$ = Faktor Daya

Setelah nilai arus nominal diketahui maka nilai kemampuan hantar arus (KHA) dari penghantar tersebut dapat didapat dari persamaan berikut:

$$\text{KHA} = 125\% \times I_n \dots\dots\dots(2.10)$$

2.7 Perhitungan Short Circuit

$$I_{sc} = \frac{I_n \times 100}{U_n} = \dots\dots\dots(2.11)$$

2.8 Perhitungan *Drop Voltage*

$$V_r = \frac{L \times I \times \rho}{A} = \dots\dots\dots(2.12)$$

Dimana:

V_r = Tegangan Jatuh (*Drop Voltage*)

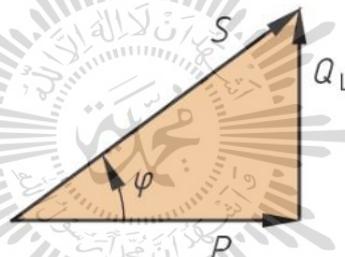
ρ = Tahanan Jenis (*rho*)

L = Panjang Kabel Penghantar

I = Besar Arus

A = Luas Penampang

2.9 Perhitungan *Segitiga Daya*



Gambar *segitiga Daya* (<https://kusumandarutp.blogspot.com/2015/08/daya-listrik-daya-aktif-daya-reaktif.html>)

(*daya semu aktif, daya reaktif, dan daya semu*)

Daya aktif (**P**) digambarkan dengan garis horizontal yang lurus. *Daya reaktif* (**Q**) berbeda sudut sebesar 90° dari daya aktif. Sedangkan *daya semu* (**S**) adalah hasil penjumlahan secara vektor antara *daya aktif* dengan *daya reaktif*. Jika mengetahui dua dari ketiga daya maka dapat menghitung salah satu daya yang belum diketahui dengan menggunakan persamaan berikut :

$P^2 = S^2 - Q^2$	$Q^2 = S^2 - P^2$	$S^2 = P^2 + Q^2$
$P = \sqrt{S^2 - Q^2}$	$Q = \sqrt{S^2 - P^2}$	$S = \sqrt{P^2 + Q^2}$
<i>1. Daya Aktif</i>	<i>2. Daya Reaktif</i>	<i>3. Daya Semu</i>

.....(2.13)

Keterangan :

P = Daya aktif

Q = Daya reaktif

S = Daya semu



2.10 Simulasi Software PSIM

PSIM adalah *simulasi rangkaian elektronik* paket perangkat lunak, yang dirancang khusus untuk digunakan dalam *elektronika daya* dan *simulasi drive motor* tetapi dapat digunakan untuk mensimulasikan setiap sirkuit elektronik. Dikembangkan oleh Powersim, PSIM menggunakan *analisis nodal* dan *aturan trapesium integrasi* sebagai dasar dari algoritma simulasi. PSIM menyediakan antarmuka menangkap skematik dan penampil gelombang Simview. PSIM memiliki beberapa modul yang memperluas fungsi ke dalam daerah tertentu dari rangkaian simulasi dan desain termasuk: teori *kontrol*, motor listrik, *photovoltaics* dan *turbin angin*. PSIM digunakan oleh industri untuk penelitian dan pengembangan produk dan digunakan oleh lembaga pendidikan untuk penelitian dan pengajaran.

2.11 Simulasi Software ETAP

ETAP (*Electric Transient Analysis Program*) merupakan suatu *software* (perangkat lunak) yang digunakan suatu sistem tenaga listrik. Perangkat ini dapat bekerja dalam keadaan *offline* yaitu untuk simulasi tenaga listrik, dan juga dalam keadaan *online* untuk pengelolaan data *real time*. Analisa tenaga listrik yang dapat dilakukan dengan menggunakan ETAP antara lain :

1. Analisa Aliran Daya (*Load Flow Analysis*)
2. Analisa Hubung Singkat (*Short Circuit Analysis*)
3. *Arc Flash Analysis*
4. *Harmonics Power System*
5. Analisa Kestabilan Transien (*Transient Stability Analysis*)
6. *Protective Device Coordination*