

BAB 2 TINJAUAN PUSTAKA

Analisa Efektivitas Tegangan Sel Surya Berdasarkan Sudut Paparan Cahaya Matahari diperlukan beberapa teori penunjang dalam penelitian tersebut, dalam bab ini akan dijelaskan tentang Efektivitas Cahaya Matahari dan beberapa penjelasan singkat mengenai perangkat lunak serta perangkat keras yang digunakan.

2.1 Tinjauan Pustaka

1. Variasi Kemiringan Sudut Terhadap Efektifitas Kinerja Panel Surya. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui arus, daya dan tegangan yang terbaik dengan menggunakan penentuan sudut kemiringan 0° , 40° dan 60° , dan menghasilkan tegangan tertinggi pada sudut 0° yaitu 16.432 Volt, sedangkan arus yang tertinggi dihasilkan oleh sudut 40° yaitu 2.79 *Ampere*, dan daya yang tertinggi pada sudut 40° yaitu 48,594 watt. Maka sudut yang paling efektif untuk pemasangan panel surya yaitu sudut 40° menghadap ke-timur. (Kinerja *et al.*, 2013)

2. Analisis sistem kerja fotovoltaiik berdasarkan sudut kemiringan menggunakan *monocrystalline* dan *policrystalline*. Penelitian ini dilakukan secara tindakan langsung (*Action Research*), ialah dengan pendekatan rancangan, pembuatan alat, dan pengujian alat. Data maksimal yang diperoleh pada sudut 0° yaitu 17.01 Watt, 19.5 Volt, 1 *Ampere* dan diperoleh data minimal ketika pada sudut 60° yaitu 12 Watt, 14 Volt, 0.8 *Ampere*, serta dengan menggunakan 30° diperoleh 16.2 Watt, 16 Volt, 1 *Ampere*. Hasil dari perhitungan didapatkan efisiensi maksimum sebesar 16% pada sudut 0° dan didapatkan efisiensi minimum sebesar 7.57% pada sudut 60° menghadap ke-timur. (Rudawin, Rajabiah dan Irawan, 2020).

3. Efektivitas Kinerja Solar Cell pada PLTS dengan sumber 50WP. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui perancangan panel surya, daya yang dihasilkan serta sudut kemiringan yang paling efektif untuk menghasilkan daya yang maksimal pada panel surya 50 Watt Peak. Sudut kemiringan yang terbaik yaitu pada kemiringan 50° , yaitu menghasilkan Daya 77.85 Watt, Tegangan 17.3 Volt dan Arus 4.5 *Ampere*, dan hasil minimum terjadi pada sudut 0° yaitu sebesar daya

16.2 Watt, Tegangan 16.2 volt dan Arus 1 *Ampere*. Penelitian ini juga mengetahui perancangan dari panel surya lalu disambungkan dengan kabel untuk dihubungkan ke *Solar Charge Controller*, lalu disambungkan ke Baterai untuk penyimpanan daya dan disambungkan ke inverter untuk menghasilkan arus DC ke arus AC. (Cahyadi *et al.*, 2020).

4. Analisis Pemanfaatan Panel Surya Dalam Penghematan Daya Listrik Di Gedung D Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara. Penelitian yang dilakukan dengan menggunakan kemiringan sudut 0° , 40° , dan 60° dan kemudian dicari sudut yang paling efektif, dengan menggunakan panel surya 50 WP, sehingga menghasilkan daya potensi listrik dari panel surya tersebut sebesar 73.07 Watt, 19.97 *voltage*, 2.7 *Ampere* dengan kemiringan sudut 40° menghadap ke-timur, yang menyerap cahaya matahari di saat waktu pukul 10.00 sampai dengan 12.00 WIB. Penelitian selanjutnya dengan sudut dan panel yang sama, dan dengan letak posisi yang berbeda dengan meghadap ke barat ,sehingga menghasilkan daya sebesar 51.71 watt, 19.92 *voltage* ,2.6 *Ampere*. Sehingga didapatkan sudut kemiringan yang paling tepat pada sudut 40° menghadap ke-timur. (Lhokseumawe *et al.*, 2010).

5. Tinjauan Terhadap PLTS 24 KW atap Gedung PT Indonesia Power Pesanggrahan Bali. Hasil dari penggunaan sudut inklinasi (β) atau kemiringan pada panel surya di bali berdasarkan pencarian terlebih dahulu dengan ketinggian optimum matahari dalam derajat (α), mendapatkan hasil persamaan yaitu sebesar $14,89^{\circ}$ menghadap ke utara, sedangkan keadaan di lapangan panel hanya diletakkan di atap gedung dengan kemiringan 22° dari permukaan tanah, kemiringan ini berselisih jauh akan tetapi sudah mendekati sudut optimum yaitu $14,89^{\circ}$ menghadap ke utara, sehingga didapatkan sudut optimum sebesar $14,89^{\circ}$ menghadap ke utara menggunakan perhitungan sudut deklanasi matahari dan sudut inklinasi matahari yang optimal.(Vidhia Kumara, Satya Kumara dan Ariastina, 2018)

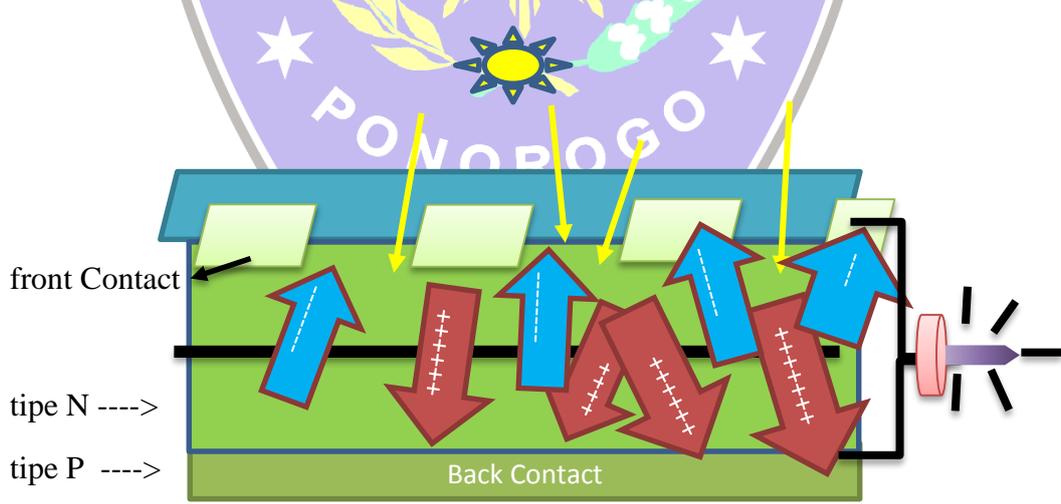
2.2 Pembangkit Listrik Tenaga Surya

Pembangkit Listrik Tenaga Surya ialah merupakan gabungan alat pengkonversi panas matahari untuk menghasilkan energi listrik, alat tersebut bernama Sel Surya atau *Solar Cell* yang banyak dikembangkan, hal ini terjadi karena cadangan energi fosil yang menipis, pemanasan global. Energi dari

matahari yang dihasilkan sangat terjangkau karena bersumber dari cahaya matahari, hal ini sering disebut “sol” atau surya dikarenakan cahaya matahari termasuk energi terkuat yang dapat dimanfaatkan.(Safitri *et al.*, 2019)

Material yang tersusun berupa semikonduktor dapat mengubah cahaya matahari menjadi energi listrik, karena telah tersusun oleh beberapa jenis semikonduktor, jenis tersebut ialah jenis negatif (N) dan positif (P). Kelebihan elektron merupakan semikonduktor yang dimiliki oleh jenis N, sehingga mempunyai negatif (N) muatan yang berlebih. Sebaliknya pada semikonduktor jenis P memiliki kelebihan proton ,dikarenakan mempunyai positif muatan yang berlebih.

Beberapa unsur dari semikonduktor pada jenis P dan N ditambahkan. Pengolahan dengan ditambahkan dua jenis semikonduktor dilakukan untuk lebih menghasilkan konduktifitas dan kemampuan daya hantar listrik dan panas. Semikonduktor intrinsik atau disebut dengan semikonduktor alami, memiliki proton dan elektron yang berjumlah sama. Elektron atau proton berlebih yang terjadi pada sebuah semikonduktor, akan mengakibatkan meningkatnya daya hantar listrik dan panas. Berikut adalah ilustrasi dari pengkonversian cahaya matahari yang jatuh dipermukaan panel sehingga dapat menghasilkan aliran listrik.



Gambar 2. 1 Proses konversi energi matahari menjadi listrik

Kabel keluaran lalu dihubungkan ke lampu. *solar cell* ini juga dapat menghasilkan listrik yang kemudian dapat untuk mengisi baterai, sehingga didapatkan penyimpanan energi.

PLTS ini bekerja dengan di dukung oleh beberapa komponen Panel Surya berupa, modul panel surya, *solar charge controller*, baterai, *inverter*, watt meter, yang biasanya dimanfaatkan sebagai listrik rumahan pengganti listrik PLN. Perkembangan teknologi dari komponen PLTS menjadikannya suatu sistem yang handal dan ekonomis. Industri nasional sudah mampu untuk memenuhi kebutuhan produksi subsistem dari PLTS, kecuali Panel Surya. Perkembangan industri hulu tidak seperti hilir yang terdiri dari *balance of system* yang meliputi integrasi sistem, lampu, rangkaian pengatur dan baterai, pendistribusian serta instalasi sudah berkembang secara baik (Idzani Muttaqin, Gusti Irfhamni, 2016)

2.2.1 Jenis-jenis Panel surya

Beberapa panel surya yang memiliki ukuran bentuk dan kapasitas penggunaan yang berbeda, panel surya memiliki ukuran tertentu yang mempengaruhi kapasitasnya, sehingga pada ukuran yang berbeda tentu mampu menghasilkan listrik yang arusnya searah atau disebut DC (*Direct Current*) dan daya perjamnya yang berbeda juga. Berikut adalah jenis panel pada sel surya :

a. Jenis pertama, yaitu jenis monokristalin. Panel ini mempunyai tingkat efisiensi paling tinggi dibandingkan jenis panel yang lain, karena menghasilkan daya listrik yang paling tinggi. Mempunyai nilai efisiensi sebesar 15%, akan tetapi pada jenis ini memiliki Kelemahan, panel akan melemahkan kinerjanya ketika berada pada tempat yang memiliki cahaya matahari yang kurang lalu akan mengakibatkan kestabilan dayanya menurun pada saat cuaca berawan. Bentuk dari panel ini ialah kotak – kotak disertai garis serta mempunyai *cells* berjumlah 3 sampai dengan 6 dalam satu baris.



Gambar 2. 2 Panel Surya Monokristalin
(sumber: <https://www.static-src.com>, diakses 19 Januari 2021)

b. Jenis yang selanjutnya adalah polikristalin atau bisa disebut multikristalin ,yang tersusun atas bahan kristal silikon serta memiliki nilai efisiensi sampai dengan 12%. Pada jenis panel surya yang terbuat dari bahan yang sedang , berada pada tingkat dibawahnya dari kakaknya yaitu monokristalin dengan tingkat efisiensi yang sedang. Pada panel jenis polikristal membutuhkan permukaan yang luas dan lebih besar dari pada jenis monokristal serta dapat menghasilkan listrik pada saat cuaca berawan, keunggulannya ialah mampu menghasilkan listrik meskipun cuaca sedang dalam keadaan berawan. Ciri khas dari panel ini ialah bergaris - garis panjang serta warnanya yang berwarna biru.



Gambar 2. 3 Panel Surya Polikristalin

(sumber: <https://images.homedepot-static.com>, tanggal 19 januari 2021)

c. Ketiga adalah jenis panel surya Ga-As, panel ini terbuat dari bahan semikonduktor yaitu *Gallium Arsenide*, merupakan senyawa dari unsur galium dan arsenik, yang memiliki kelebihan ialah dapat bekerja lebih efisien ketika temperaturnya tinggi, dan sering diaplikasikan pada pembuatan perangkat seperti sel surya dan dioda laser. Keunggulan pada jenis panel surya ini ialah akan menghasilkan keluaran yang lebih efisien hingga mencapai 25%.



Gambar 2. 4 Panel Surya Gallium Arsenide

(Sumber : <https://sc04.alicdn.com>, diakses 19 Januari 2021)

2.2.2. Karakteristik Solar Cell (Photovoltaic)

Karakteristik dari solar cell yang bertipe fotovoltaik ialah memiliki tebal 0.3mm, dan bahan yang ada pada fotovoltaik berbahan semikonduktor yang memiliki dua kutub yaitu positif dan negatif. Menimbulkan perbedaan tegangan ketika kedua kutubnya mendapatkan cahaya matahari yang jatuh pada permukaan panel, sehingga motor yang berarus DC dapat bergerak serta lampu dapat dinyalakan. Menghubungkan solar cell secara seri atau paralel dapat menghasilkan daya yang lebih besar tergantung penggunaannya.

Sunwatt®	
Rated Maximum Power (Pmax)	20W
Current at Pmax (Imp)	1.11A
Voltage at Pmax (Vmp)	18.0V
Open-Circuit Voltage (Voc)	21.24V
Short-Circuit Current (Isc)	1.24A
Dimensions (MM)	450*350*17
Efficiency (EFF)	17.6%
WARNING	
HAZARDOUS ELECTRICITY CAN SHOCK, BURN OR CAUSE DEATH, DO NOT TOUCH TERMINALS	
Irradiance and Cell Temperature	1000W/m ² AM1.5 25°C
   	

Gambar 2.5 Spesifikasi Panel Surya

Sel surya beragam dan tergantung pada karakteristik tegangan sel surya. Spesifikasi *Solar Cell* yang digunakan adalah:

- Maksimal Daya (P_{max}) : 20W
- Maksimal Tegangan Listrik (V_{mp}): 18.0V
- Maksimal Arus Daya (I_{mp}): 1.11A
- Tegangan Sirkuit Terbuka (V_{oc}): 21.24V
- Arus Sirkuit Pendek (I_{sc}): 1.24A
- *Irradiance and Cell Temperature* : 1000 W/m² - 1,5AM - 25°C
- Dimensi : 450 x 350 x 17 mm
- Efficiency (EFF) : 17,6%

2.2.3.Prinsip Kerja Sel Surya *Photovoltaic*

Prinsip kerja dari panel *photovoltaic* ialah ketika sinar matahari yang jatuh pada panel dapat menjadi energi listrik, sedangkan bahan semikonduktor dari *photo cell* mereka menggunakan *Poly Crystalline Sillicon*. Prinsip yang digunakan hampir sama dengan prinsip diode p-n, berikut merupakan proses dari pergerakan sel surya:

Cahaya matahari yang jatuh pada permukaan panel akan diserap kemudian oleh material semikonduktornya seperti silikon, lalu elektron yang bermuatan negatif akan keluar dari atom, dan akan menghasilkan listrik ketika muatan positif mengalir melalui semikonduktor dengan berlawanan arah.

Beberapa panel surya yang bergabung akan mengubah energi matahari menjadi energi listrik searah (DC), dan dapat disimpan pada penyimpanan yaitu adalah sebuah baterai. Pada penggunaan listrik rumah listrik dari sel surya yang bersifat searah, masih belum bisa digunakan karena listrik yang ada pada rumah menggunakan sifat bolak – balik atau biada disebut listrik AC dan bertegangan tinggi, maka dari itu perlu digunakannya alat yang bernama inverter, ialah sebuah alat yang dapat mengubah arus DC menjadi arus AC. Rumus yang digunakan pada panel surya adalah sebagai berikut :

- a. Daya *Input* : Perhitungan daya *input* dapat menggunakan persamaan

$$P_{in} = G \times A$$

Keterangan:

G = Intensitas radiasi matahari(Watt/m²)

A = Luas area permukaan *photovoltaic module* (m²)

b. Daya *Output* : daya *output* ialah $P_{out} = V_{max} \times I_{max}$

Keterangan :

P_{in} = Daya *input* (Watt) / P_{out} = Daya keluaran (Watt)

V_{max} = Tegangan pada daya maksimum(Volt)

I_{max} = Arus pada daya maksimum(Ampere)

2.2.4 Pengoperasian Sel Surya

Pengoperasian sel surya meliputi beberapa faktor dan komposisi alat yang ada didalamnya, agar bekerja secara maksimal, berikut adalah faktor dan komponen yang ada sebagai penunjang pengoperasian sel surya :

a. Radiasi Matahari

Radiasi matahari merupakan pancaran dari sinar cahaya matahari, ini akan sangat berpengaruh pada lokasi yang berbeda-beda, dan mengakibatkan *insolation* (radiasi matahari yang tiba di permukaan bumi persatuan luas dan waktu) dengan satu yang digunakan menggunakan Wm^{-2} (lux per-satuan luas)banyak berpengaruh pada arus yang sedikit pada tegangan. Energi matahari 99% berada pada gelombang pendek antara 0,15um sampai 4,0um, oleh sebab itu radiasi matahari disebut juga radiasi gelombang pendek. Dalam perjalanannya melalui atmosfer menuju permukaan bumi melalui penyerapan (*absorpsi*), pemantulan, hamburan dan pancaran sinar cahaya kembali (*reradiasi*)

b. Atmosfir Bumi

Ultraviolet merupakan sesuatu yang berbahaya untuk makhluk hidup yang berada di bumi, utamanya adalah manusia, hewan, dan tumbuhan, maka dari itu terdapatnya sebuah lapisan untuk melindunginya yaitu adalah Atmosfir, atmosfer juga berfungsi untuk melindungi benda yang berada diluar angkasa dari gaya gravitasi bumi, selain itu dapat menjaga suhu dan cuaca di bumi supaya tetap stabil.

Kedaaan Atmosfir bumi yang kadang berawan, mendung, kabut, berdebu, asap,uap air serta polusi yang berlebihan akan sangat berpengaruh daripada untuk menghasilkan sebuah arus dan tegangan pada sel surya. Atmosfer planet bumi

tersusun atas beberapa unsur seperti Nitrogen sebesar (78.17%), lalu Oksigen sebesar (20,97%), Argon sebesar (0,9%), dan Karbon Dioksida (0.0357%) serta gas lainnya. (Pembelajaran, 2019)

c. Posisi Letak Panel Surya

Letak panel surya yang tepat akan mempengaruhi keluaran daya dan tegangan yang efektif, sehingga bisa mengoptimalkan pembangkit listrik untuk bekerja secara maksimal, dengan menstabilkan jatuhnya sinar matahari supaya jatuh berada tepat pada permukaan sel surya secara tegak lurus, dapat menghasilkan energi yang maksimum sebesar kurang lebih 1000 W/m² atau 1 kilo Watt per meter persegi, namun ketika tidak bisa mempertahankan jatuhnya cahaya matahari secara tepat tegak lurus pada permukaan panel maka dibutuhkan ekstra luasan atau penambahan panel surya. Artinya ketika bisa mempertahankan cahaya jatuh pada titik 0 maka akan berpengaruh pada arus dan tegangan yang dihasilkan.

d. *Air Temperature*

Sel surya harus mempertahankan suhu temperatur normal sebesar 25 °C , hal ini untuk menjaga pengoperasian supaya dapat menghasilkan energi yang maksimum, sedangkan ketika temperatur naik semakin tinggi melebihi dari batas normalnya yaitu sebesar 25 °C, maka akan mengalami penurunan kinerja dari sel surya. Dari sumber “Lorenzo Eduardo” menyatakan bahwa setiap kenaikan suhu sel surya sebesar 10° *Celcius* dari 25° *Celcius* maka kinerja akan berkurang sebesar 0,4% pada setiap total energi yang dihasilkan atau bisa dikatakan melemah 2x lipat (Sumber: *Solar Electricity*, Lorenzo Eduardo.), yang berarti ketika *temperature* sel surya melebihi 35°C maka tenaga yang dihasilkan akan berkurang 2x lipat.

e. Posisi *Latitude* (garis lintang) Berdasarkan Garis Khatulistiwa

Rangkaian panel surya yang jatuhnya tepat pada sinar matahari yang tepat ialah salah satu hal yang penting, karena akan lebih baik ketika sel surya menghasilkan energi yang maksimum, selain arah ialah sudut dari peletakan panel juga berpengaruh pada hasil arus dan tegangan yang maksimum. Salah satu sebagai pedoman ialah, ketika wilayahnya terletak di utara garis katulistiwa maka baiknya panel surya dihadapkan ke selatan, peletakan pada arah timur dan barat juga dapat menghasilkan sejumlah energi, akan tetapi tidak akan mendapatkan energi yang optimal. (Pembelajaran, 2019)

2.3 Efektivitas Cahaya Matahari

Efektifitas atau efisiensi dapat diartikan sebagai hasil banding data energi listrik yang dihasilkan oleh sel surya, kemudian dibandingkan dengan cahaya yang masuk dari hasil penyerapan oleh cahaya matahari. Posisinya yang selalu berubah – ubah pada setiap harinya itu mengakibatkan nilai ke-efektifitasannya tidak stabil, hal tersebut dapat terjadi pada penyerapan sel surya yang bekerja dengan menyerap cahaya matahari yang paling terang. Pembangkit Listrik Tenaga Surya atau yang disebut PLTS sendiri sebenarnya tergantung pada tingkat cahaya matahari dan efisiensinya konversi energi yang diterima panel tersebut (Asy'ari, Jatmiko dan Angga, 2012)

Incoming solar radiation merupakan hasil energi pancaran matahari yang sampai ke bumi, atau biasa dikenal dengan istilah insolasi. Insolasi memiliki beberapa gelombang yaitu gelombang pendek atau yang biasa disebut dengan sinar ultra ungu panjangnya sebesar 400nm, dan satunya mempunyai panjang gelombang sampai dengan lebih dari 760nm dan biasa disebut dengan sinar inframerah. Efeknya ultra ungu dan inframerah juga berbeda, ultra ungu memiliki efek foto kimia, dan inframerah memiliki efek foto *thermal* (sebuah kolom udara naik pada ketinggian rendah atmosfer bumi) tertentu. Beberapa sudut sinar matahari bergantung pada garis katulistiwa, sudut kemiringan dan musim yang terjadi, pada sudut tegak lurus lebih memberikan insolasi yang besar dibandingkan sudut sinar yang miring.

Intensitas terbesar terjadi pada siang hari karena sudut sinar datangnya tegak lurus, dibandingkan dengan pagi dan sore hari sudut sinar datangnya miring sehingga menghasilkan intensitas yang kecil pada saat itu. Hasil insolasi terbesar berada di tengah garis katulistiwa berbeda dengan yang ada di daerah kutub, dikarenakan insolasi di katulistiwa empat kali lebih besar daripada insolasi di daerah kutub. (Wiraatmaja, 2017)

2.3.1 Variasi insolasi

Variasi insolasi yang terjadi di bumi disebabkan oleh beberapa faktor yaitu adalah :

a. Faktor musim

Energi matahari akan melemah ketika musim dingin tiba, dikarenakan harus menembus lapisan atmosfer bumi yang lebih tebal. Sudut datang sinar matahari

juga menjadi pemicunya, matahari yang bersinar lebih lama maka akan menghasilkan energi yang lebih besar, ketika musim kemarau tentunya akan menghasilkan energi yang sangat besar jika dibandingkan dengan musim penghujan atau musim dingin.

b. Faktor sudut kemiringan.

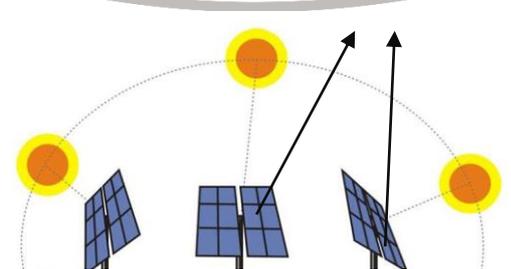
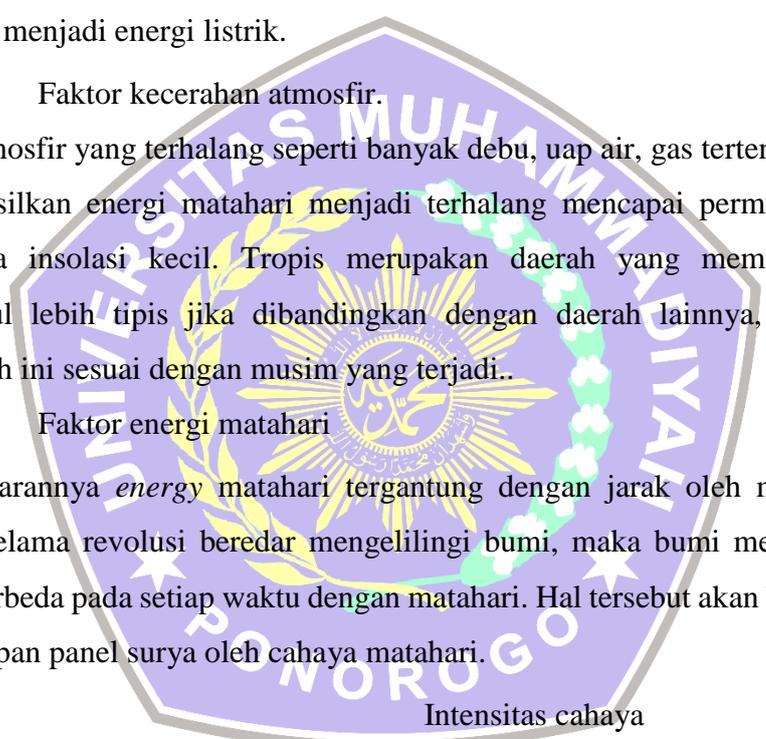
Faktor sudut kemiringan dalam peletakan panel surya matahari menjadi salah satu dari beberapa faktor insolasi cahaya matahari, dengan menggunakan sudut kemiringan maka insolasi sinar yang datang akan lebih maksimal penyerapannya, jika dibandingkan dengan yang hanya meletakkan secara tidak beraturan, sudut kemiringan juga mempengaruhi energi yang dihasilkan dari energi cahaya matahari menjadi energi listrik.

c. Faktor kecerahan atmosfer.

Atmosfir yang terhalang seperti banyak debu, uap air, gas tertentu dan awan menghasilkan energi matahari menjadi terhalang mencapai permukaan bumi, sehingga insolasi kecil. Tropis merupakan daerah yang memiliki lapisan pemantul lebih tipis jika dibandingkan dengan daerah lainnya, akan tetapi pengaruh ini sesuai dengan musim yang terjadi..

d. Faktor energi matahari

Besarannya *energy* matahari tergantung dengan jarak oleh matahari dan bumi, selama revolusi beredar mengelilingi bumi, maka bumi membuat jarak yang berbeda pada setiap waktu dengan matahari. Hal tersebut akan berefek pada penyerapan panel surya oleh cahaya matahari.



Intensitas cahaya

Gambar 2. 6 Intensitas Cahaya

(sumber : instrucable.com, diakses 17 Januari 2021)

Efektivitas cahaya matahari juga sangat bergantung pada nilai intensitas cahaya matahari yang jatuh tepat di permukaan bumi, hasil dari penelitian tersebut didapatkan dengan menggunakan alat bantu yang bernama Lux Meter

yaitu alat pengukur intensitas cahaya matahari. Hasil dari penelitian yang terjadi pada intensitas cahaya matahari setelah dilakukan pengujian oleh seseorang, hasil intensitas cahaya matahari tertinggi pada waktu siang hari pukul 11.00 – 13.00 yang mampu menghasilkan nilai intensitas sebesar 99.900 lux – 115.800 lux, dengan intensitas tersebut sel surya mampu menghasilkan daya sebesar 15,53 watt (Asy'ari, Jatmiko dan Angga, 2012).

e. Deklinasi Matahari

Deklinasi merupakan jarak atau ketinggian suatu benda dari ekuator langit(perpanjangan ekuator bumi ke bola langit) ke benda langit, sedangkan nilai ekuator tertinggi dari kutub utara adalah senilai 90 derajat lintang utara dan sebaliknya nilai ekuator pada kutub selatan sebesar -90 derajat lintang selatan. Jadi nilai deklinasi terbesar di kutub langit utara dan berada di titik yang tepat diatas kutub utara sebesar +90 derajat, sedangkan deklinasi terbesar di kutub selatan langit selatan dan berada di titik yang tepat diatas kutub selatan sebesar -90 derajat.

Posisi matahari yang sedang berada pada musim kemarau di selatan bumi di bulan desember, menghasilkan sudut deklinasi mencapai 23,45 derajat dari khatulistiwa ke arah selatan, sedangkan untuk posisi matahari pada musim dingin di bulan juni , menghasilkan sudut deklinasi mencapai 23,45 derajat ke arah utara.

Deklinasi matahari selalu berubah – ubah disetiap minggu bahkan di sepanjang hari, ketika deklinasi matahari positif maka posisi matahari sedang berada di utara, dan bisa jadi panjang siang di kawasan utara akan lebih dari 12 jam, dan sebaliknya ketika deklinasi matahari negatif maka posisi matahari sedang berada di selatan, dan sapat menjadikan waktu yang panjang di siang harinya di wilayah selatan hingga lebih dari 12 jam. Maka dari itu dapat diketahui nilai deklinasi menggunakan jumlah hari dalam 1 tahun dalam persamaan sebagai berikut :

$$\delta = 23,45^\circ \sin[360/365(284 + N)]$$

Keterangan :

δ = mengetahui deklinasi matahari

N = jumlah hari di setiap tahunnya

Contoh jumlah hari dalam tahun 2020 :

1 Januari memiliki nilai N	= 1
2 Januari memiliki nilai N	= 2
26 Juli memiliki nilai N	= 207
31 Desember bernilai N	= 305

Dengan hasil percobaan sebagai berikut :

$$\delta = 23,45^\circ \sin[360/365(284 + N)] \text{ (rumus cooper)}$$

Menghitung deklinasi matahari pada tanggal 26 Juli 2020 sebagai berikut :

$$\delta = 23,45^\circ \sin[360/365(284 + 207)]$$

$$\delta = 23,45^\circ \sin[360/365(491)]$$

$$\delta = 19.378^\circ$$

Maka deklinasi matahari pada tanggal 26 Juli 2020 sebesar 19.378°

Sinar datangnya matahari yang jatuh ke bumi sesungguhnya bervariasi berdasarkan garis lintang dan deklinasi matahari, dan diketahui sudut efisiensi terbesar pada sudut datang sinar matahari adalah 90° , sedangkan sudut deklinasi matahari diketahui mencapai $19,378^\circ$ pada tanggal 26 Juli 2020, Dikarenakan kemiringan sumbu rotasi bumi terhadap bidang orbit bumi terhadap matahari, tempat terbit dan terbenamnya matahari selalu bervariasi pada setiap harinya. (Vidhia Kumara, Satya Kumara dan Ariastina, 2018).

Berikut adalah cara mengetahui ketinggian maksimum ketika matahari mencapai langit melalui persamaan :

$$\alpha = 90^\circ - \text{latitude} + \delta \text{ (north)} \text{ dan } \alpha = 90^\circ + \text{latitude} - \delta \text{ (south)}$$

Keterangan : α = ketinggian maksimum

90° = sudut datang matahari

latitude = garis lintang (lokasi panel surya)

δ = sudut deklinasi matahari (utara atau selatan)

Jawab :

$$\alpha = 90^\circ + 8,20 - 19,378$$

$$= 78,82^\circ \text{ ke utara}$$

$$\alpha = 90^\circ - 8,20 + 19,378$$

$$= 101.78^\circ \text{ ke selatan}$$

Orientasi dan inklinasi/kemiringan β panel surya supaya mendapatkan paparan cahaya matahari yang terbaik di lokasi Kabupaten Ponorogo dengan panel surya 20WP dan garis lintang $8,20^\circ$ LS dan $111,52$ BT pada 26 Juli 2020 ,dapat ditentukan dengan cara berikut : $\beta = 180^\circ - (90^\circ + \alpha)$

Keterangan : β = orientasi kemiringan Panel Surya

180° = kondisi bumi datar

90° = sudut datang matahari

α = sudut deklinasi

Jawab : $\beta = 180^\circ - (90^\circ + 78,82^\circ)$
 $= 11,78^\circ$ menghadap ke utara

2.3.2 Alat Ukur Intensitas Cahaya Matahari (Lux Meter)

Efektivitas tegangan yang berada pada panel surya untuk mencapai nilai tegangan yang efektif maka dibutuhkan peletakan panel surya sesuai sudut kemiringan, ketepatan pemasangan, dan melakukan pengukuran intensitas cahaya yang masuk pada panel surya supaya dapat menghasilkan tegangan, daya dan arus yang lebih efektif. Alat pengukur intensitas cahaya matahari itu disebut Lux Meter.



Gambar 2. 7 Lux Meter (pengukur intensitas cahaya matahari)

Fungsi dari Lux Meter sendiri ialah alat untuk mengukur intensitas cahaya, dan beberapa pekerjaan membutuhkannya seperti penggunaan didalam kantor yang terkadang menentukan kebutuhan cahaya supaya penggunaan seperti membaca lebih baik dan jelas, dan kebutuhan cahaya di kamar tidur karena tidur akan lebih baik ketika tubuh tidak menyerap cahaya yang banyak. Terdapat bagian-bagian penting yang ada didalam alat ini yaitu :

a. Layar panel

layar panel ini berbentuk persegi panjang, fungsi dari layar ini ialah untuk menampilkan secara monitor hasil pengukuran yang sudah dilakukan dengan skala. Ketika skala yang dimunculkan berupa angka dan bernominal besar maka menandakan intensitas cahaya tersebut besar, dan sebaliknya ketika nominalnya kecil maka intensitas cahaya tersebut rendah.

b. On/Off

Fungsi dari tombol on/off ini ialah untuk menghidupkan dan mematikan alat tersebut, setiap alat pasti mempunyai tombol on/off, sehingga dapat menghemat pemakaian pada baterainya dan juga menghemat energi ketika digunakan harus menggunakan energi listrik yang besar. Selain itu tombol ini juga sebagai pengatur antara menghidupkan dan mematikannya.

c. Range

Tombol range yang berwarna merah tersebut berfungsi sebagai salah satu komponen yang ada pada alat ukur intensitas cahaya tersebut, yang digunakan untuk proses pengukuran, dan tombol ini ketika dipencet nantinya akan menentukan jangkauan pengukuran intensitas hingga sebesar apa.

d. Zero

Zero merupakan arti dari nol atau kosong, pada tombol *zero* ini berfungsi untuk mengatasi masalah yang terjadi pada pembagian tanda skala, dan ketika *error* maka klik dengan menggunakan tombol *zero* dan alat akan mengembalikannya pada semula, yang berarti harus mengulang kembali proses pengukuran dari awal.

e. Sensor Cahaya

Bagian ini merupakan sesuatu yang sangat vital, dikarenakan memiliki peran yang sesuai dengan nama alat tersebut yaitu penangkap cahaya yang kemudian nanti akan diukur oleh pengguna, selain itu pada bagian ini jangan lupa untuk

selalu dibersihkan, supaya tidak ada debu yang menjadi kerak pada bagian tersebut karena akan mempengaruhi pengukuran alat tersebut, maka dari itu sering-sering untuk membersihkannya menggunakan tisu atau sesuatu yang lembut supaya tidak menimbulkan goresan pada sensor.

2.4 MPPT Solar Charger Controller

Solar Charger Controller adalah salah satu komponen bagian dari panel surya, fungsi dari alat ini adalah untuk mengatur arus ketika sudah arus *overcharging* yaitu kelebihan pengecasan pada baterai, sekaligus alat untuk menghubungkan arus searah dengan baterai sebagai penyimpanan energi yang berarus DC, selain itu alat ini juga bisa sebagai alat monitoring tegangan yang dihasilkan pada panel surya. Ketika *voltage* yang berlebih pada panel surya alat ini akan mendeteksi, karena jika terjadi pengecasan terus - menerus dapat mengurangi umur baterai.



Gambar 2. 8 MPPT Solar Charger Controller

Solar Charger Controller juga menerapkan mode PWM (*Pulse With Modulation*) yaitu selain untuk memonitor arus pada panel surya yang berlebih, alat ini juga sebagai alat pengecasan baterai penyimpanan pada panel surya. *Voltage* pada panel surya umumnya bisa mencapai 14 – 20 Volt, jadi dengan menggunakan *Solar Charger Controller* maka akan memberikan pengamanan terhadap pengisian yang berlebihan dan ketidakstabilan tegangan yang masuk pada baterai, dan baterai umumnya dilakukan pengecasan pada tegangan 14 Volt.

Berikut adalah fungsi dari *Solar Charger Controller* :

- a. *Monitoring* temperatur dan *voltage* pengisian baterai
- b. Mengatur pengisian baterai dan mengatur arus searah supaya tidak terjadi *over*
- c. Mengatur arus searah yang diberi beban dan diambil dari baterai agar tidak *overloading*.

Untuk penggunaan lebih diperhatikan kapasitas yang dibutuhkan pada panel surya, kapasitas baterai dan kegunaan pada ampere, misal 5 *Ampere* atau 10 *Ampere*. *Voltage* Dc 12 volt / 24 Volt DC.

2.5 Baterai Panel Surya

Baterai merupakan perangkat yang terdiri dari beberapa sel kimia yang terkoneksi, dan disediakan untuk memberikan daya pada alat seperti, senter, *handphone*, radio, musik bok dan lain sebagainya. Ketika baterai bekerja dan menghantarkan daya listrik yang terjadi adalah kutub positifnya menjadi katode dan kutub negatifnya menjadi anoda, selain itu baterai juga dapat digunakan untuk piranti Pembangkit Listrik Tenaga Surya, berikut adalah baterai yang cocok digunakan di panel surya.



Gambar 2. 9 Baterai

(Sumber : <https://janaloka.com>, diakses 19 Januari 2021)

Beberapa jenis baterai yang umumnya sering digunakan pada dunia otomotif dan industri, baterai tersebut dinamakan baterai *lead acid* baterai ini juga sering kita jumpai di dalam susunan komponen panel surya. Baterai jenis ini bila ditinjau

lebih dalam, baterai *lead acid* ini menggunakan bahan yang berasal dari *lead acid* atau asam timbal, maka dari itu baterai ini juga disebutkan bernama baterai *lead acid*. Baterai tersebut dibedakan menjadi dua jenis baterai yaitu :

1. Starting battery

Baterai atau aki jenis starting battery ialah baterai yang dirancang untuk menghasilkan arus listrik yang tinggi pada jeda waktu yang singkat, sehingga beberapa kendaraan seperti mobil, motor dan kendaraan lainnya membutuhkan starting yang tinggi melalui penggunaan baterai jenis ini, dikarenakan untuk menghidupkan mesin membutuhkan arus listrik yang tinggi dalam waktu yang singkat, setelah mesin hidup maka aki akan menghantarkan kinerjanya dan langsung dicas oleh dinamo, sehingga baterai jenis ini akan selalu terisi arus listrik selama dinamo menyala dan tidak pernah habis, dan jika dikerjakan terus menerus akan mempercepat aki menjadi rusak, baterai jenis ini tidak cocok jika digunakan pada penyimpanan energi pada panel surya. (Thowil Afif dan Ayu Putri Pratiwi, 2015).

2. Deep Cycle Battery

Baterai jenis ini dirancang sebaliknya daripada starting battery, jika pada starting battery digunakan untuk menghasilkan arus yang tinggi maka pada jenis ini kinerja baterai dirancang untuk bisa membuat arus listrik menjadi stabil namun dalam waktu yang lama, baterai ini dinamakan Deep Cycle Battery, baterai ini juga tahan terhadap pengisian dan pengosongan berulang-ulang, jenis ini sering digunakan pada kursi roda dan juga banyak digunakan pada pembangkit listrik tenaga surya.

Terdapat 2 jenis aki yang digolongkan yaitu ialah :

1. FLA (Flooded Lead Acid Battery)

Baterai ini sering dikatakan orang di Indonesia seperti halnya adalah aki basah, atau biasa disebut dengan *wet cell / flooded battery*, seperti pada aki mobil ataupun motor model lama juga menggunakan tipe baterai seperti ini. Baterai ini perlu diperhatikan cairan elektrolitnya, hal itu untuk menjaga kestabilan pada aki tersebut, karena cairan tersebut merupakan faktor kinerja dari baterai jenis ini,

untuk mengisi cairan pada baterai ini maka penggunaan haus membuka tiap katup untuk penambahan cairan ke garis maksimum yang sudah disediakan

Cairan tersebut merupakan faktor dari kinerja aki tersebut, karena sel-selnya harus terendam oleh cairan elektrolit supaya dapat berfungsi secara optimal, dan jika kurang maka harus ditambah. Selain itu juga terdapat lubang ventilasi pada setiap katup yang berfungsi untuk membuang gas hidrogen saat terjadi proses pengisian baterai.

2. *VRLA (Valve-Regulated Lead Acid Battery)*

Berbeda dengan jenis FLA yang merupakan aki basah, pada baterai ini merupakan baterai kering, dan disebut dengan Sealed Lead Acid Battery atau Sealed Maintenance Free Battery.

Baterai ini disebut dengan baterai kering karena secara bentuk fisiknya hanya terdapat katub terminal Positif (+) dan katub terminal Negatif (-), baterai ini juga mempunyai cairan elektrolit, akan tetapi tidak dapat diisi ulang pada cairannya, hanya bisa dilakukan pengecasan. Baterai ini dirancang sedemikian rupa agar cairan elektrolit yang ada didalamnya tidak berkurang yang disebabkan kebocoran ataupun penguapan, pada jenis baterai ini juga memiliki katup ventilasi yang akan terbuka pada tekanan tertentu untuk membuang reaksi kimia, dan berikut merupakan penampakan dari batter FLA (Flooded Lead Acid Battery) dan VRLA (Valve-Regulated Lead Acid Battery).



Gambar 2. 10 Penampakan baterai FLA (kiri) VRLA (kanan)
(sumber : infopromodiskon.com, diakses tanggal 21 Januari 2021)

Baterai VRLA dibedakan menjadi 2 jenis yaitu :

a. VRLA AGM

Memiliki pemisah yang terdiri dari fiberglass yang terletak diantara plat sel-sel, dan tujuan peletakan tersebut adalah untuk menyerap cairan elektrolit agar tersimpan di pori-pori fiberglass, sedangkan fungsi fiberglass ini juga seperti handuk yang menyerap ketika ujungnya dicelupkan kedalam cairan

b. VRLA GEL (*Gel Cells*)

Memiliki cairan elektrolit kental seperti agar-agar atau puding maupun gel, namun tidak disarankan digunakan pada perangkat yang membutuhkan suplai arus tinggi dikarenakan jelly-nya akan menjadi robek, dan akan menjadikan cepat rusak sehingga tidak dapat digunakan kembali.

Jenis baterai keduanya ini menjadi suatu jenis baterai yang disarankan dalam menggunakan panel surya, seperti solar home system, PJUTS (Penerangan Jalan Umum Tenaga Surya), pompa tenaga surya, lampu jalan tenaga surya, dan PLTS (Pembangkit Listrik Tenaga Surya).

2.6 Watt Meter

Beberapa alat penunjang pada sistem Pembangkit Listrik Tenaga Surya atau biasa sering disebut Solar Cell, selain alat untuk mengecas, alat untuk mengukur intensitas cahaya dan alat untuk menyimpan energi, ini merupakan salah satunya yaitu alat untuk mengukur daya, arus dan tegangan yang masuk dari panel surya menuju ke Solar *Controlling Charging* dan menuju ke beban atau ke penyimpanan, alat tersebut adalah Wattmeter.

Wattmeter merupakan alat pengukur daya listrik yang masuk dari dan merupakan kombinasi voltmeter dengan ampermeter, didalamnya terdapat dua kumparan yaitu arus dan tegangan, serta kopel yang dikalikan oleh kedua kumparan tersebut berbanding lurus dari hasil perkalian arus dan tegangan.



Gambar 2. 11 Watt Meter

(sumber : <https://powerwerx.azureedge.net>, diakses 21 Januari 2021)

Alat ini bekerja sebagai monitoring daya panel surya atau fotovoltaic untuk nantinya dihubungkan melalui *Miniature Cicuit Breaker* MCB, dan dihubungkan ke *Solar Charger Controller*, alat ini juga bekerja sebagai *monitoring* batas maksimal kinerja fotovoltaic menuju ke baterai, supaya dapat mengamankan sel surya jika MCB tidak bekerja atau terjadi kelebihan keluaran yang tidak terbaca oleh MCB. (Kurniawan, 2012)

Wattmeter merupakan media pengukuran alat secara langsung dan digunakan untuk mengukur daya listrik. Alat ini juga diterapkan untuk perhitungan pengukuran arus searah dan arus bolak-balik. Berikut adalah rumus yang dipakai untuk arus searah dalam beban tahanan (*ohm*).

$$P = V \cdot I \quad P = I^2 \cdot R \quad P = \frac{V^2}{R}$$

P = daya listrik (watt)

V = tegangan listrik (Volt)

I = arus listrik (*Ampere*)

R = hambatan (*ohm*)

Dengan V adalah tegangan beban dan I adalah arus beban pada arus bolak-balik, daya yang dipakai pada beban pada saat tegangan beban V dan arus beban I dinyatakan sebagai $P = V \cdot I$ dengan V dan I adalah tegangan dan arus sebagai fungsi waktu yang memenuhi persamaan sinusoida.