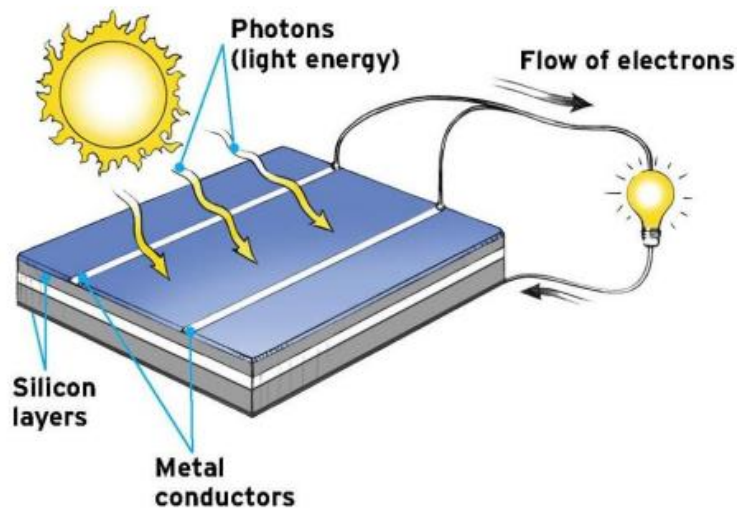


BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1. Panel Surya

Panel surya merupakan pengubah intensitas radiasi matahari menjadi energi listrik. Panel surya menghasilkan arus yang digunakan sebagai pengisian baterai [18]. Panel surya terdiri dari fotovoltaiik yang menghasilkan listrik dari intensitas radiasi yang didapatkan. Fotovoltaiik merupakan proses perubahan energi sinar matahari yang diubah menjadi energi listrik yang dapat dibangkitkan. Foto mempunyai arti sebagai cahaya dan voltaik adalah tegangan. Penjelasan ini yang biasa digunakan untuk menjelaskan sel elektronik untuk memproduksi energi listrik dengan arus searah dari energi radian matahari [17]. Intensitas radiasi berkurang yang biasanya dikarenakan cuaca berawan, dan hujan maka mengakibatkan arus listrik yang dihasilkan berkurang [18]. Detail panel surya pada Gambar 2.1 berikut.

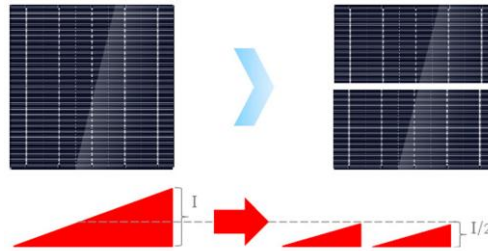


Gambar 2.1 Detail Panel Surya [19]

Pada Gambar 2.1 dengan menambahkan konversi tenaga surya diperlukan penambahan luas panel surya untuk meningkatkan hasil tegangan. Biasanya sel surya dengan ukuran tertentu memberikan hasil tertentu pula. Contohnya ukuran $A \text{ cm} \times B \text{ cm}$ menghasilkan listrik *Direct Current* (DC) sebesar $x \text{ W per hour}$ [20]. Jadi semakin luas permukaan pada panel surya, maka semakin besar daya listrik yang akan dihasilkan oleh panel surya tersebut.

2.2.1. *Half-cut Solar Panel*

Half-cut merupakan jenis pengembangan panel surya terbaru dengan menggandakan jumlah sel dalam sebuah modul. Meskipun memiliki kekurangan mengurangi arus yang dihasilkan pada setiap sel. Tetapi ini merupakan kelebihan karena kehilangan daya panel surya sebagian besar dipengaruhi oleh jumlah arus yang dihasilkannya [21]. Pada Gambar 2.2 merupakan tampak sel *half-cut*.



Gambar 2.2 Perbandingan Sel Panel Surya [21]

Gambar 2.2 merupakan contoh ukuran pada 1 sel panel surya pada umumnya dan panel surya *half-cut*. Efisiensi panel surya *half-cut* lebih optimal karena dapat mengurangi kehilangan daya hingga 75% [21]. Jadi panel surya *half-cut* memiliki penyebaran suhu yang lebih merata pada permukaan panel surya.

2.2.2. *Monocrystalline*

Merupakan panel surya paling efisien, menghasilkan daya listrik persatuan luas yang paling tinggi. Memiliki efisiensi sampai dengan 15% s.d. 22% [17]. Pada Gambar 2.3 merupakan panel surya *monocrystalline* yang memiliki ketahanan sel paling lama dari semua sel surya berbasis silikon.



Gambar 2.3 Panel Surya *Monocrystalline* [18]

Gambar 2.3 contoh panel surya *monocrystalline*. Faktanya, umur panel surya jenis ini dapat bertahan hingga 25 tahun untuk panel *monocrystalline* [18]. Kekurangan panel jenis ini berfungsi kurang baik apabila saat radiasi matahari kurang optimal. Efisiensi turun drastis saat cuaca berawan [17].

2.2.3. *Polycrystalline*

Tersusun dari kristal yang acak. Sehingga untuk menghasilkan daya listrik yang sama memerlukan luas permukaan yang lebih luas jika dibandingkan panel surya *monocrystalline*. Pada Gambar 2.4 merupakan panel surya *polycrystalline* yang tetap dapat menghasilkan daya listrik pada saat kondisi mendung [17].



Gambar 2.4 Panel Surya *Polycrystalline* [18]

Gambar 2.4 contoh panel surya *polycrystalline*. Kemurnian kristal silikon tidak semurni *monocrystalline*, sehingga membuat efisiensinya lebih rendah sekitar 13% s.d. 16% [18]. Biasanya kristal pada panel surya *polycrystalline* berwarna biru.

2.2.4. *Thin Film Solar Cell*

Panel surya jenis ini diproduksi dengan menambahkan lapisan material sel surya yang tipis ke dalam lapisan dasarnya. Pada Gambar 2.5 dapat terlihat panel surya jenis ini sangat tipis dan mudah rusak pada selnya. Sehingga menjadikannya fleksibel dan cukup ringan [18].

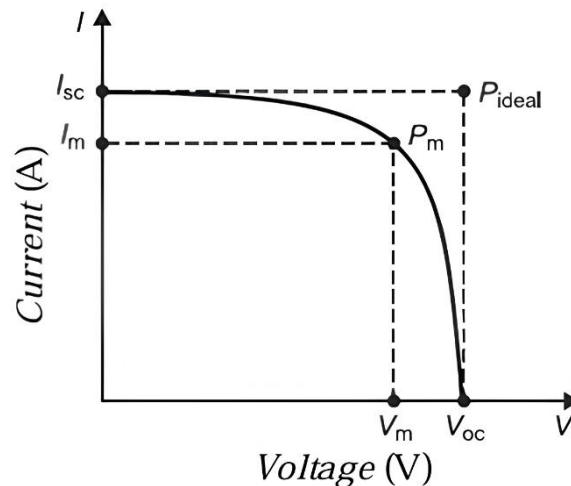


Gambar 2.5 Panel Surya *Thin Film* [18]

Gambar 2.5 contoh panel surya *thin-film*. Jenis ini dikenal dengan nama panel surya *Thin Film Photovoltaic* (TFPV) [18]. Keuntungan dari panel surya *thin film* adalah dapat disimpan pada substrat kaca dan pada substrat fleksibel [19]. Panel surya jenis ini memiliki efisiensi yang lebih rendah dari panel surya lainnya.

2.2. Parameter Panel Surya

Adapun beberapa parameter untuk mengetahui keefektifan utama pada panel surya. Panel surya merupakan pengubah energi radiasi matahari menjadi energi listrik. Pada Gambar 2.6 merupakan parameter yang berfungsi untuk mengetahui tingkat efisiensi yang dihasilkan panel surya.



Gambar 2.6 Kurva I V Panel Surya [22]

Pada Gambar 2.6 merupakan penjelasan parameter yang terdapat pada panel surya. Parameter paling utama yang dapat terlihat, yaitu tegangan rangkaian terbuka (V_{oc}), arus hubung singkat (I_{sc}). Terdapat juga tegangan maksimum (V_m), arus maksimum (I_m), serta yang terakhir adalah efisiensi (η) [22].

1. Tegangan rangkaian terbuka (V_{oc}) merupakan tegangan maksimum yang didapatkan pada panel surya dengan cara pengukuran pada rangkaian terbuka menggunakan multimeter. Biasanya diukur dalam satuan *Volt*. Semakin tinggi V_{oc} yang terukur maka semakin baik panel surya tersebut, serta nilai V_{oc} ini tergantung pada pengoperasian panel surya dan teknologi manufaktur yang digunakan [22].
2. Arus hubung singkat (I_{sc}) merupakan arus maksimum yang didapatkan pada panel surya dengan cara pengukuran rangkaian terbuka. Menggunakan multimeter atau dengan menggunakan tang ampere yang kedua kutub kabel positif (+) dan negatif (-) ya dihubung singkat (*short*). Nilai arus maksimum tergantung pada teknologi dan pengoperasian yang digunakan pada panel surya tersebut [22].

3. Tegangan maksimum (V_m) Merupakan tegangan pada saat panel surya digunakan bersamaan dengan beban. Tentu nilai pada V_m lebih kecil dibandingkan V_{oc} , hal ini dikarenakan panel surya bekerja dengan menggunakan beban. Pada beberapa kondisi normal, nilai tegangan maksimum sama dengan 80% s.d. 85% dari V_{oc} panel surya [22]. Jadi dapat dikatakan V_m merupakan tegangan yang didapat pada saat kondisi rangkaian panel surya memiliki beban atau rangkaian tertutup.
4. Arus maksimum (I_m) merupakan arus yang didapatkan pada saat panel surya digunakan bersamaan dengan beban. Nilai daripada I_m lebih kecil dibandingkan dengan I_{sc} , hal ini karena digunakannya beban pada saat panel surya beroperasi. Pada beberapa kondisi normal, nilai arus maksimum sama dengan 90% s.d. 95% dari I_{sc} panel surya [22].
5. Daya *output* panel surya pada perancangan pembangunan PLTS terutama harus diperhitungkan untuk pemakaian beban dari PLTS. Sehingga dapat mengetahui dan menghitung besarnya kapasitas listrik yang dibuat. Berikut merupakan contoh pada kebutuhan beban daya yang digunakan, jumlah panel surya, kapasitas panel [18]. Daya *output* yang dihasilkan oleh panel surya dapat ditulis secara sistematis untuk perhitungan daya seperti yang terdapat pada Persamaan (2.1) berikut [23].

$$P_{out} = V \times I \quad (2.1)$$

Pada Persamaan (2.1) persamaan sistematis daya (P_{out}) panel surya. Dapat diartikan sebagai daya keluaran panel surya (P_{out}) didapatkan dari tegangan (V) yang dikali dengan arus (I) yang didapatkan pada panel surya. Jadi semakin besar tegangan dan arus yang didapatkan maka semakin besar juga daya panel surya. Daya yang dihasilkan panel surya juga sangat dipengaruhi dengan radiasi matahari.

6. Efisiensi daya normalisasi (η_n) adalah perbandingan daya *output* pada panel surya dengan daya maksimal dalam kondisi STC. Dapat dikatakan dalam keadaan pengujian panel surya saat radiasi matahari optimal 1000 W/m² atau keadaan panel surya dapat menyerap cahaya matahari sepenuhnya. Efisiensi daya normalisasi dapat dituliskan dengan menggunakan Persamaan (2.2) berikut [24].

$$\eta_n = \frac{P_{act}}{P_{max}} \times 100\% \quad (2.2)$$

Persamaan (2.2) merupakan perbandingan daya *output* yang dibandingkan dengan daya maksimal dalam kondisi STC. Pada saat radiasi matahari optimal 1000 W/m². Terdapat η_n merupakan efisiensi daya normalisasi (%), P_{act} merupakan daya *output* dari panel surya (W), dan P_{max} merupakan daya maksimal dari panel surya kondisi STC (W). Semakin besar nilai efisiensi daya normalisasi maka semakin besar juga daya yang dihasilkan oleh panel surya. Begitu sebaliknya, semakin kecil radiasi matahari yang diterima panel surya maka semakin kecil daya yang dihasilkan panel surya tersebut.

7. Efisiensi Daya Konversi (η_p) merupakan efisiensi yang umum dicantumkan pada *nameplate* panel surya. Efisiensi daya konversi didefinisikan sebagai perbandingan antara energi *output* dari panel surya dengan energi yang disuplai oleh radiasi matahari. Efisiensi ini dapat dicari melalui Persamaan (2.3) dan Persamaan (2.4) berikut [24].

$$P_{in} = G \times A \quad (2.3)$$

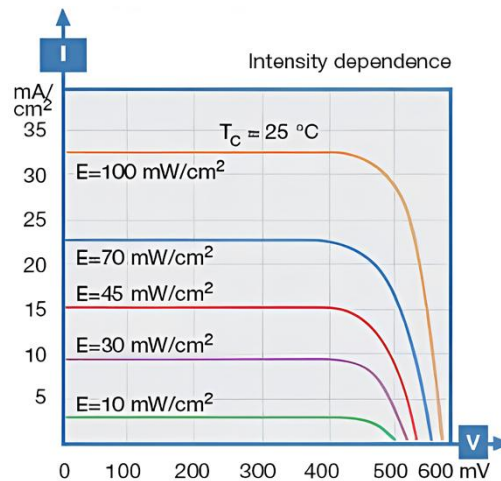
$$\eta_p = \frac{P_{act}}{P_{in}} \times 100\% \quad (2.4)$$

Pada Persamaan (2.3) merupakan perkalian antara radiasi matahari dan luas permukaan panel surya untuk mencari daya *input* panel surya. Pada Persamaan (2.4) merupakan efisiensi daya konversi dari perbandingan antara daya *output* pada panel surya dengan daya *input* panel surya tersebut. Terdapat P_{in} merupakan daya *input* panel surya (W), G merupakan radiasi matahari (W/m²), A merupakan luas permukaan panel surya (m²), η_p merupakan efisiensi daya konversi (%), dan P_{act} merupakan daya *output* panel surya (W). Jadi semakin besar efisiensi daya konversi, maka semakin bagus juga daya yang dihasilkan panel surya tersebut.

2.3. Faktor-faktor Pengaruh Kinerja Panel Surya

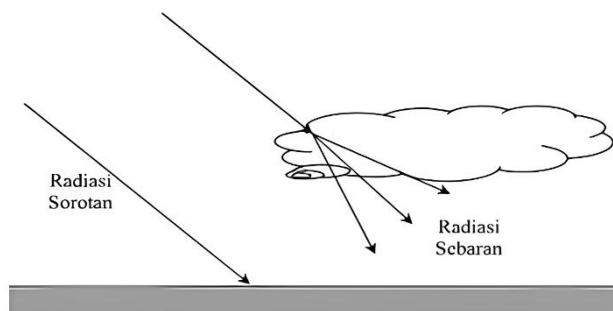
Adapun faktor yang mempengaruhi kinerja panel surya. Beberapa faktor seperti intensitas radiasi matahari, kebersihan panel surya, suhu, *partial shading*, dan orientasi modul panel surya. Faktor tersebut dapat dijabarkan sebagai berikut.

1. Intensitas radiasi matahari melihat pada radiasi matahari yang diterima bumi terdistribusi pada beberapa *range* gelombang, mulai dari 85 nm sampai dengan 4 mikron [25][26]. Sebagian radiasi mengalami refleksi di atmosfer dan sisanya sampai ke permukaan bumi. Pada Gambar 2.7 merupakan kurva I V terhadap radiasi yang digunakan untuk mengukur besaran radiasi yang diterima sel surya [26].



Gambar 2.7 Kurva Arus dan Tegangan Terhadap Intensitas Radiasi [26]

Pada Gambar 2.7 menggambarkan intensitas radiasi berpengaruh terhadap perubahan tegangan *open circuit* (V_{oc}) [26]. Tegangan *open circuit* semakin berkurang ketika intensitas radiasi dikurangi tetapi perubahannya tidak signifikan. Gambar 2.8 karena faktor sebaran radiasi yang diterima oleh permukaan bumi memiliki intensitas yang berbeda-beda tiap saatnya.



Gambar 2.8 Radiasi Sorotan dan Radiasi Sebaran Permukaan Bumi [27]

Pada Gambar 2.8 dapat terlihat faktor tersebutlah yang menyebabkan arah datang sinar matahari tidak tegak lurus dengan permukaan bumi. Dapat dikatakan membentuk sudut tertentu, sehingga sinar matahari tersebut

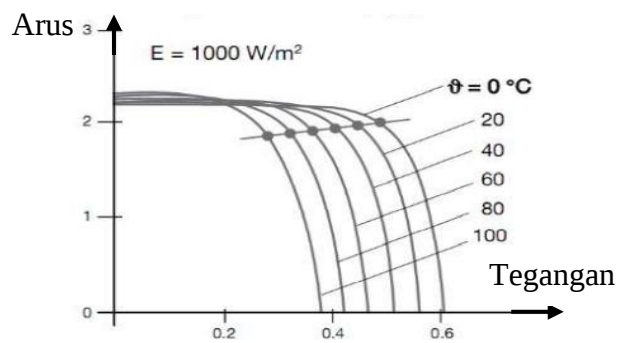
mengalami difusi oleh atmosfer bumi [27]. Sehingga terjadinya difusi pada sinar matahari oleh atmosfer bumi tersebut juga yang membuat intensitas radiasi matahari menjadi kecil. Indonesia terdapat tiga kondisi cuaca, pada Gambar 2.9 merupakan kondisi cuaca cerah, berawan, dan hujan. Kondisi cuaca cerah rata-rata intensitas radiasi matahari dalam satu hari $543,5 \text{ W/m}^2$ dengan puncak di atas 1000 W/m^2 [28][29]. kondisi langit pada kondisi cuaca cerah tampak berwarna biru cerah bersih dari awan. (Gambar 2.9a)



Gambar 2.9 Kondisi Langit; (a) Cerah, (b) Berawan, (c) Hujan

Dapat terlihat perbedaan kondisi keadaan langit pada Gambar 2.9. Adapun rata-rata intensitas radiasi matahari selama satu hari pada kondisi cuaca berawan $456,5 \text{ W/m}^2$ [28]. Kondisi langit pada saat kondisi cuaca berawan tampak matahari dan langit tentu banyak tertutupi awan (Gambar 2.9b). Adapun saat kondisi cuaca hujan tentu intensitas radiasi matahari sangat rendah. Rata-rata intensitas radiasi matahari selama satu hari pada saat kondisi berawan $348,4 \text{ W/m}^2$ [28]. Kondisi langit saat kondisi cuaca hujan tampak gelap serta matahari yang tidak terlihat dan banyaknya awan yang disertai turunnya air hujan. (Gambar 2.9c)

2. Kondisi kebersihan panel surya melihat pada kebersihan panel surya sangat penting dalam meningkatkan efisiensi daya yang dihasilkan. Hal ini dikarenakan apabila panel surya dalam keadaan berdebu maka mengurangi efisiensi daya pada panel surya. Semakin bersih permukaan panel surya maka semakin baik hasil efisiensi daya yang dihasilkan [26].
3. Suhu panel surya optimal pada suhu 25°C . Semakin tinggi suhu pada panel surya maka berdampak pada pengisian daya yang dihasilkan oleh panel surya [30]. Kurva $I V$ terhadap perubahan suhu pada Gambar 2.10 berikut.



Gambar 2.10 Kurva Arus dan Tegangan Terhadap Perubahan Suhu [26]

Pada Gambar 2.10 merupakan kurva arus dan tegangan terhadap perubahan suhu. Panel surya optimal ketika berhadapan langsung dengan matahari dalam pengertian posisi permukaan panel surya langsung berhadapan dengan matahari [30]. Suhu memiliki peran penting dalam panel surya, untuk suhu pada panel surya tinggi penurunannya mencapai 25°C .

4. *Partial shading* melihat dari daya yang dihasilkan oleh pembangkit tenaga surya yang terhubung ke jaringan besar sangat bergantung pada radiasi matahari. Permasalahan *partial shading* diakibatkan oleh bayangan pohon dan gedung yang menutupi permukaan *array* panel surya [31][32]. Semakin banyak area *partial shading* dari paparan matahari langsung maka daya keluaran panel surya semakin berkurang [31].
5. Orientasi modul panel surya melihat pada efisien modul panel surya meningkat jika berada pada sudut 90° dengan menghadap sinar matahari. Poros bumi dengan kemiringan $23,45^{\circ}$ terhadap bidang dari orbit bumi oleh matahari [26]. Semakin sesuai derajat kemiringan terhadap arah pergerakan matahari maka semakin besar juga efisiensi dayanya. Pada wilayah Cilegon panel surya dengan orientasi sudut kemiringan tetap 15° [29] memiliki hasil radiasi dan daya yang optimal [33].

2.4. *Solar Tracking System*

Solar tracking system merupakan sistem penggerak yang mengikuti arah pergerakan matahari. Diharapkan dapat menghasilkan daya yang lebih optimal pada panel surya. Hal ini dikarenakan permukaan panel surya selalu menghadap dan mengikuti arah pergerakan matahari.

Permukaan panel surya yang menghadap pada arah matahari membuat panel surya memiliki efisiensi daya yang dihasilkan lebih tinggi apabila dibandingkan panel surya statis. Berdasarkan jumlah sudut putarnya ada dua jenis *solar tracking*, yaitu *single axis solar tracking* dan *dual axis solar tracking* [34].

2.4.1. *Solar Tracking Single Axis System*

Merupakan sistem pergerakan panel surya mengikuti arah matahari dari timur ke barat dengan satu sumbu derajat untuk berotasi, yaitu sumbu pada sudut *altitude*. *Single axis system* dapat meningkatkan efisiensi daya pada panel surya sebesar 30% apabila dibandingkan dengan panel surya statis [34]. Detail pada panel surya *single axis* terdapat pada Gambar 2.11 berikut.

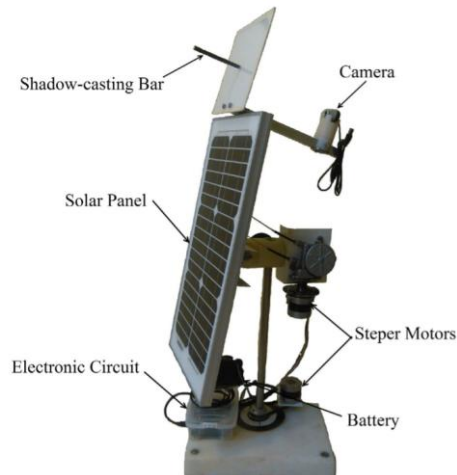


Gambar 2.11 Contoh *Solar Tracking Single Axis System* [11]

Seperti yang dapat terlihat pada Gambar 2.11 merupakan contoh pada *solar tracking single axis system*. Pada *single axis system* memiliki satu motor sebagai penggerak. Pengembangan ini merupakan salah satu contoh peningkatan efisiensi pada panel surya agar mendapatkan hasil daya yang lebih optimal.

2.4.2. *Solar Tracking Dual Axis System*

Merupakan sistem pergerakan panel surya mengikuti matahari yang memiliki dua sumbu derajat untuk berotasi, yaitu sudut *altitude* dan *azimuth*. Meningkatkan efisiensi daya sebesar 35% s.d. 40%, jika dibandingkan panel surya statis [34]. Detail pada panel surya *dual axis* terdapat pada Gambar 2.12 berikut.

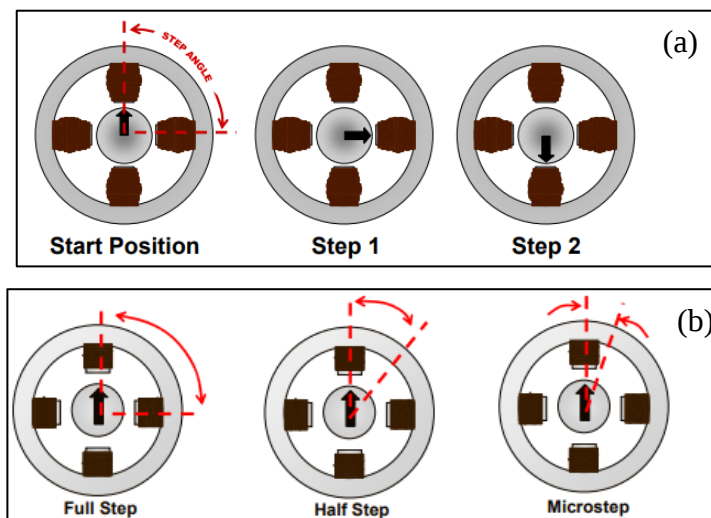


Gambar 2.12 Contoh *Solar Tracking Dual Axis System* [12]

Seperti yang dapat terlihat pada Gambar 2.12 merupakan contoh pada *solar tracking dual axis*. Panel surya *dual axis system* menggunakan dua buah motor sebagai penggerak kedua sumbunya. Pengembangan ini merupakan peningkatan efisiensi panel surya agar mendapatkan hasil daya lebih optimal.

2.5. Motor Stepper

Motor *stepper* bergerak dalam langkah-langkah yang sangat jelas terlihat selama pergerakan rotasinya. Setiap langkahnya didefinisikan dengan sebuah istilah yang disebut dengan *step angle*. Bahwa terdapat 4 langkah yang jelas agar rotor bisa menghasilkan satu rotasi lengkap sebesar 360° . Gambar 2.13 tersebut mendefinisikan sebuah *step angle* sebesar 90° [35].



Gambar 2.13 *Motor Stepper*; (a) Pola *Step Angel*, (b) Pola *Stepping* [35]

Terdapat tiga pola *stepping* berbeda yang digunakan untuk mempengaruhi posisi terindeks dari *shaft* atau rotor. Pola-pola tersebut adalah *full stepping*, *half-stepping* dan *microstepping*. seperti yang dapat ditunjukkan pada Gambar 2.13 [36]. Adapun detail pada contoh motor *stepper* pada Gambar 2.14 berikut.

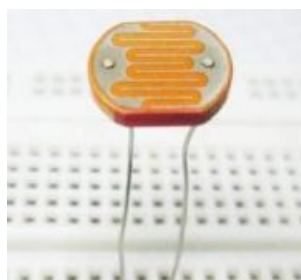


Gambar 2.14 Contoh Motor *Stepper* [37]

Gambar 2.14 merupakan contoh motor *stepper*. Motor *stepper* merupakan motor digital karena motor ini bergerak secara diskrit. Karakteristik ini yang menjadikan motor *stepper* sesuai untuk sistem antarmuka dengan mikrokontroler.

2.6. *Sensor Light Dependent Resistor (LDR)*

Salah satu jenis sensor cahaya adalah *Light Dependent Resistor (LDR)*. Dapat membuat alat yang berkaitan dengan cahaya seperti jemuran otomatis, *tracking* arah sumber cahaya matahari, dan banyak lagi lainnya [38]. Biasanya sensor LDR yang berada di sekitar umum berukuran 4 mm dan 11 mm, Gambar 2.15 merupakan sensor LDR dengan ukuran 4mm.



Gambar 2.15 Sensor LDR [38]

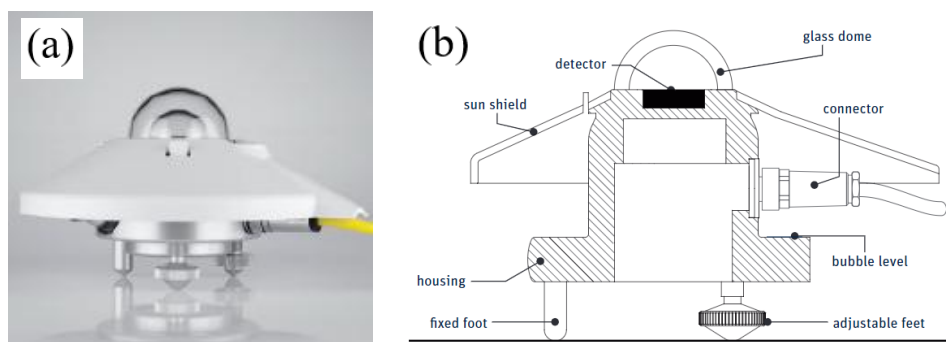
Seperti yang terlihat pada Gambar 2.15, LDR disebut juga sebagai *photoresistor* karena memiliki resistansi yang berubah seiring dengan perubahan intensitas cahaya yang mengenainya. Dalam kondisi gelap, resistansi LDR bisa mencapai 10 M Ω , tapi dalam kondisi terang, resistansi LDR turun hingga 1 k Ω bahkan bisa kecil lagi. Sifat inilah yang membuat LDR sebagai sensor cahaya [38].

Karakteristik LDR terdiri dari dua macam, yaitu laju *recovery* dan respon spektral. Dapat dijabarkan sebagai berikut:

1. Laju *recovery* merupakan ukuran kenaikan nilai resistansi dalam waktu tertentu. LDR tipe arus kecepataannya lebih dari 200 kilo per detik, kecepatan tersebut lebih tinggi pada arah sebaliknya, yaitu pindah dari tempat gelap ke tempat terang yang memerlukan waktu kurang dari 10 Ms untuk mencapai resistansi *level* cahaya 400 lux [39].
2. Respons spektrum pada sensor LDR tidak mempunyai sensitivitas yang sama, setiap panjang gelombang cahaya yang jatuh padanya biasanya dalam warna pada cahaya [39]. Pada keadaan gelap tanpa cahaya, LDR memiliki nilai resistansi yang besar. Pada keadaan terang atau pada siang hari nilai resistansinya dapat mengecil, lebih kecil dari 1 k Ω [39].

2.7. *Pyranometer*

Pyranometer merupakan alat ukur yang digunakan untuk mengukur intensitas radiasi matahari. Pengukuran radiasi gelombang pendek matahari ataupun radiasi global serta radiasi *diffuse* dari spektrum 85 Nm sampai dengan 850 Nm [40]. Radiasi global merupakan radiasi matahari yang diterima sudut ruang 2π steradian atau berbentuk setengah bola pada permukaan horizontal [41][42]. Alat ukur *pyranometer* seperti yang dapat terlihat pada Gambar 2.16 berikut.

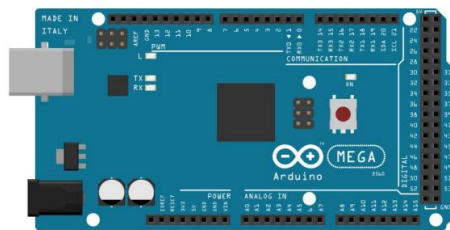


Gambar 2.16 Alat Ukur *Pyranometer*: (a) Bentuk Fisik; (b) Bagian *Pyranometer* [43]

Gambar 2.16a merupakan penampakan *pyranometer* secara nyata. Adapun detail pada penggambaran bagian *pyranometer* pada Gambar 2.16b. terlihat seperti kaca dibagian atas, terdapat juga konektor sebagai penghubung ke perangkat. Adapun pengatur level kemiringan pada *pyranometer* agar dapat sejajar atau rata.

2.8. Arduino

Merupakan perangkat pengendali mikro *single board* yang bersifat *open source*. Dirancang untuk memudahkan penggunaan elektronik dalam berbagai bidang [44]. Mikrokontroler diprogram menggunakan bahasa pemrograman Arduino yang memiliki kemiripan *syntax* dengan bahasa C [44]. Contoh Arduino mega seperti yang dapat terlihat pada Gambar 2.17 berikut.



Gambar 2.17 Arduino Mega 2560 [45]

Gambar 2.17 merupakan contoh Arduino yang digunakan, yaitu Arduino MEGA 2560. Merupakan papan mikrokontroler Atmega2560 yang memiliki 54 *pin* digital *input* dan *output*. Berisi semua yang diperlukan untuk mendukung mikrokontroler, menghubungkannya ke komputer dengan kabel USB atau *power* adaptor AC DC atau baterai.

2.9. Digital Clamp Multimeter

Digital *clamp multimeter* merupakan alat ukur untuk mengukur aliran arus listrik. Tang ampere dapat difungsikan sebagai *multimeter*. Apabila menggunakan dua *probe* yang terdapat pada tang ampere digunakan mengukur tegangan listrik AC atau DC, arus listrik AC atau DC, resistansi, frekuensi, dan kapasitas [46]. Pada Gambar 2.18 merupakan digital *clamp multimeter* yang digunakan.



Gambar 2.18 Digital Clamp Multimeter

Pada Gambar 2.18 merupakan alat ukur yang bekerja tidak terkontak langsung dengan terminal arus yang diukur, sehingga aman dari sengatan listrik berbahaya. Tidak mengganggu juga pada rangkaian listrik yang dilakukan pengukuran. Digital *clamp multimeter* ini memiliki tingkat akurasi yang tinggi.

2.10. *Thermogun*

Thermogun merupakan alat ukur suhu yang menggunakan inframerah dengan pengukuran jarak tertentu. Pada penelitian ini menggunakan *thermogun* yang biasa digunakan dalam aktivitas industri. Memiliki sensitivitas inframerah sebesar 8 s.d. 14 μm , dengan ketelitian sebesar 0,1 s.d. 1 % pada pembacaan nilainya [47]. Gambar 2.19 merupakan contoh *thermogun* pada penelitian.



Gambar 2.19 *Thermogun*

Pada Gambar 2.19 merupakan contoh *thermogun* tidak memerlukan kontak langsung pada media yang ingin di ukur suhunya. *Thermogun* ini mempunyai tingkat keakuratan yang baik karena biasanya digunakan pada industri yang menjadikan *thermogun* ini bagus. Semakin dekat pengukuran yang dilakukan dengan *thermogun* maka semakin besar tingkat akurasinya.

2.11. *Kajian Pustaka*

Pada sub bab kajian pustaka ini membahas tentang penelitian terdahulu. Terkait penelitian sebelumnya tentang efisiensi daya dan besarnya intensitas radiasi matahari yang didapatkan dengan *solar tracking dual axis*. Berikut beberapa penelitian terdahulu yang menjadi landasan pada penelitian yang dilakukan.

Hasil penelitian yang telah dilakukan [7] dengan panel surya *polycrystalline* 22.5 W yang bertujuan membangun *solar tracking dual axis system* dengan biaya

rendah, hasil efisiensi daya lebih besar 40% dibandingkan panel surya sistem statis. Penelitian ini menggunakan penggerak aktuator dengan daya yang kecil.

Penelitian yang berbeda pada [11] dengan menggunakan *single axis system* tetapi tetap dapat mendapatkan nilai efisiensi yang sama besar 30.03%, meskipun pada pengambilan datanya dengan sistem atau sistem rangkaian tertutup digunakan beban aktuator hidrolik sebagai penggeraknya serta lampu sebagai penanda apabila panel surya tersebut bekerja dengan baik atau tidak.

Adapun penelitian terlebih dahulu [2] yang dilakukan di Indonesia yaitu di daerah Medan, hasil pengujian yang telah dilakukan selama 8 jam dengan interval waktu pengambilan per 10 menit. Didapati nilai intensitas rata-rata yang didapatkan pada pengujian sebesar $408,10 \text{ W/m}^2$ serta untuk hasil efisiensi yang didapatkan cukup kecil yaitu sebesar 4.21%, hal ini dikarenakan pada saat pengambilan data banyak faktor-faktor yang membuat hasil yang didapatkan kurang optimal.

Hasil penelitian yang telah dilakukan [48] pada tahun 2022, dengan konsumsi daya yang lebih rendah. Sistem panel surya *solar tracking dual axis* adalah salah satu cara terbaik untuk meningkatkan produksi energi dari panel surya, sekitar 10%–50% tambahan energi surya dapat dikumpulkan dengan menggunakan sistem *solar tracking dual axis* dibandingkan dengan sistem sudut tetap. Namun, efektivitasnya sangat bergantung pada lokasi (terutama lintang) dan kondisi iklim, karena iklim sangat mempengaruhi hasil daya yang didapatkan oleh panel surya.

Adapun penelitian yang telah dilakukan [49] dengan panel surya 200 W untuk mengoptimalkan *solar tracking dual axis* yang dibandingkan dengan panel surya *single axis* dapat menghasilkan rata-rata tegangan 19,72 V, arus 1,34 A, dan daya 26,82W, sedangkan *solar tracking dual axis* menghasilkan rata-rata tegangan 18,93 V, arus 1,9 A, dan daya 35,76 W. Sistem rangkaian *close loop*, *solar tracking dual axis* menghasilkan daya lebih optimal dibandingkan panel surya sistem statis.

Berdasarkan hasil penelitian [2][7][11][48][49] sebagai rujukan kajian pustaka dari penelitian sebelumnya. Penelitian yang dilakukan ini menggabungkan permasalahan yang ada dan mencoba mengatasi dengan menggunakan metode yang telah dipaparkan. Penelitian ini menggunakan panel surya *half-cut monocrystalline* berkapasitas 85 WP dengan *solar tracking dual axis* yang dilakukan selama 9 hari dengan pengujian dari jam 06:00 s.d. 18:00 dalam interval waktu per 1 jam.