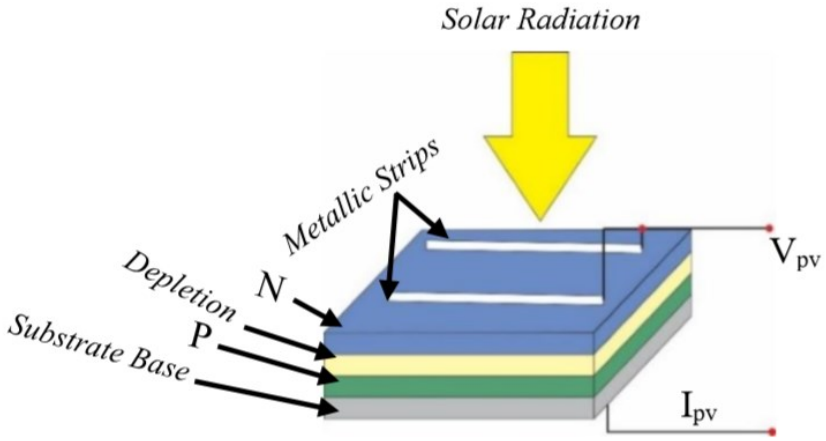
BAB II
TINJAUAN PUSTAKA

2.1. *Solar Panel*

Solar panel atau biasa disebut panel surya merupakan komponen atau alat semikonduktor yang memiliki fungsi sebagai untuk mengkonfersi suatu energi yang berasal dari matahari yang kemudian diubah menjadi energi berupa listrik. Pengkonfersian energi dilakukan yaitu dengan melepaskan suatu elektron yang menerima suatu impuls sinar dari matahari. *Solar panel* menggunakan bahan yang bersifat semikoduktor yaitu *silicon* yang berguna untuk melakukan koversi energi. Pada bahan *silicon* ini memiliki beberapa lapis yaitu lapis yang memiliki muatan (N) atau negatif serta lapis yang memiliki muatan (P) atau positif [20]. Pada Gambar 2.1 merupakan lapisan *solar panel*.



Gambar 2.1 Struktur lapisan *solar panel* [15]

Pada *solar panel* untuk mengubah sinar dari matahari menjadi suatu energi listrik yaitu dengan menggunakan suatu komponen yang disebut *Grid Connected*, komponen ini menghasilkan suatu energi listrik yaitu berupa arus DC. *Solar panel* menghasilkan suatu energi listrik dengan besar tegangan 0,6 volt dengan seluruh sel pada kondisi tanpa memiliki beban, serta pada *solar panel* menghasilkan suatu energi listrik dengan besar tegangan 0,45 volt pada seluruh sel dengan kondisi memiliki beban. Pada *solar panel* dibagi menjadi beberapa jenis dilihat dari bahan pembuatannya anatara lain *Polycrystalline*, *Thin film,* serta *Monocrystalline* [21].

2.1.1. *Monocrystalline Solar Panel*

Panel surya *monocrystalline* merupakan panel surya yang dapat menghasilkan suatu daya yang tinggi pada persatuan luas sehingga dari daya yang dihasilkan tersebut panel surya ini dapat dikatakan panel surya yang efisiensi sebesar 15% sampai 20% [22]. Pada penggunaannya panel surya tersebut digunakan untuk penggunaan ditempat yang memiliki lingkungan iklim ekstrim. Pada panel surya ini memiliki kelemahan yaitu pada saat cuaca teduh efisiensinya menjadi kurang baik [21]. Pada panel surya *monocrystalline* memiliki bentuk susunan yang kompleks pada bentuk panelnya, hal tersebut dapat dilihat pada Gambar 2.2.

Gambar 2.2 *Monocrystalline solar panel* [23]

2.1.2. *Polycrystalline Solar Panel*

Panel surya *polycrystalline* merupakan panel surya yang komponen bahan penyusunya terdiri dari kristal yang tersusun secara acak. Pada panel surya jenis ini memiliki ukuran penampang panel yang lebih besar sehingga untuk mengoprasikannya haruslah membutuhkan tempat serta area yang luas [21]. Pada panel surya ini memiliki efisiensi yang lebih rendah yaitu sebesar 13% sampai 16% [22]. Pada Gambar 2.3 merupakan bentuk panel surya *polycrystalline.*

Gambar 2.3 *Polycrystalline solar panel* [23]

2.1.3. *Thin Film Solar Panel*

Panel surya *thin film* merupakan panel surya dengan teknologi paling baru yang dimana panel surya ini memiliki komponen lapisan dengan struktur yang tipis yang terdiri dari *microcristalsilicon* serta *amorphous* [21]. Pada panel surya ini memiliki efisiensi yaitu sebesar 8,5% [22]. Pada panel surya ini sangat cocok digunakan pada tempat yang memiliki sedikt sinar matahari dikarenakan daya listrik yang dihasilkan oleh panel surya ini 45% tebih besar dibandingkan panel surya jenis lain [21].

Pada panel surya *thin film* ini terdapat beberapa jenis dilihat dari bahan serta efisiensi yang dihasilkan pada panel surya tersebut, yaitu sebagai berikut:

1. *Amorphous Silicon* (a-Si) *Solar Panel*

Pada panel surya ini pada umumnya diterapkan pada komponen alat elektronik sebagai daya utama atau daya tambahan. Panel surya ini memiliki struktur lapis yang bersusun atau biasa disebut *stacking* yang jika disatukan bertumpuk. Panel surya ini memiliki efisiensi sebesar 6% sampai 8% pada saat beroperasi [24].

2. *Cadmium Telluride* (CdTe) *Solar Panel*

Pada panel surya ini memiliki tingkat efisiensi yang lebih baik dibandingkan *Amorphous Silicon*. Panel surya ini dikatakan lebih baik dikarenakan bahan yang digunakan merupakan bahan *cadmium telluride*. Panel surya yang terbuat dari bahan *cadmium telluride* sehingga berdampak pada efisinsinya menjadi lebih baik

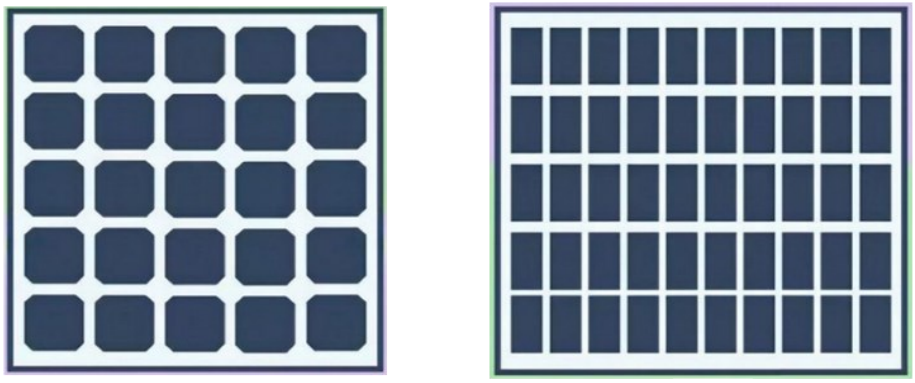
yaitu sebesar 9% sampai 11% pada saat beroprasi [24].

3. *Copper Indium Gallium Selenide* (CIGS) *Solar Panel*

Pada panel surya ini memiliki tingkat efisiensi yang lebih baik dibandingkan dengan *amorphous silicon* serta *cadmium telluride*. Panel surya ini dikatakan lebih baik dikarenakan bahan yang digunakan merupakan bahan *copper indium gallium selenide*. Panel surya yang terbuat dari bahan *copper indium gallium selenide* sehingga berdampak pada efisinsinya menjadi lebih baik yaitu sebesar 10% sampai 12% pada saat beroperasi [24].

2.1.4. *Half-Cut Solar Panel*

Panel surya *half-cut* merupakan jenis panel surya dengan sistem penggunaan pada keseluruhan selnya terbagi menjadi dua atau setengah potong. Pada penerapan teknologi *half-cut* memiliki keuntungan pada panel surya dalam hal kinerjanya terutama pada hasil *output*. Teknologi *half-cut* juga memiliki keuntungan pada panel surya dalam hal penerimaan panas yang berasal dari matahari atau pun lingkungan sekitar, pada saat panel surya menerima panas maka panas tersebut akan menyebar secara merata hal tersebut dikarenakan sistem sel setengah potong yang diterapkan menyebabkan celah pada setiap bagian sel sehingga sirkulasi panas akan mengalir dengan baik serta merata, sehingga panel surya kemungkinan kecil akan terhindar dari *overheat* [25], [26].



(a) (b)

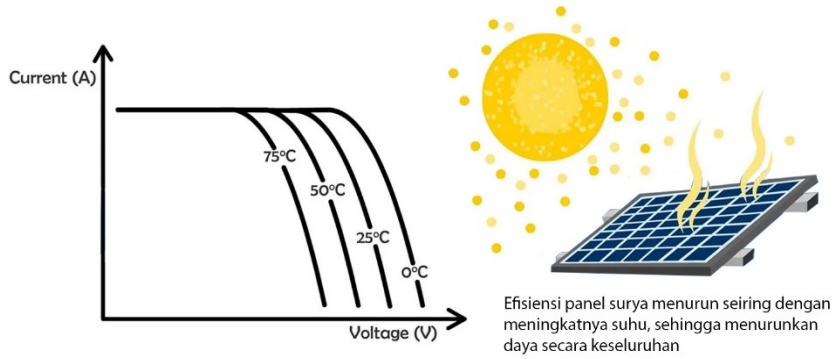
Gambar 2.4 Perbandingan sistem sel panel surya, (a) *Standard solar panel*, (b) *Half-cut solar panel*

2.2. Hal-hal Penentu Kinerja *Solar Panel*

Pada bagian ini merupakan beberapa penentu kinerja dari *solar panel*, dapat dilihat sebagai berikut.

2.2.1. Suhu *Solar Panel*

Suhu pada *solar panel* faktor yang berpengaruh, hal ini dikarenakan akan berhubungan langsung dengan efek yang ditimbulkan sel surya dalam menyerap cahaya matahari untuk dilakukan pengubahan energi matahari menjadi daya listrik. Pada *solar panel* suhu yang paling stabil yaitu sebesar 25°C, maka jika suhu *solar panel* melebihi suhu tersebut maka akan mempengaruhi daya keluaran yang dihasilkan, dan jika suhu *solar panel* terlalu tinggi maka akan mengganggu kinerja panel surya dalam menghasilkan daya listrik. Pada suhu ini merupakan faktor yang sangat penting bagi panel surya dalam menjalankan sistemnya [27].

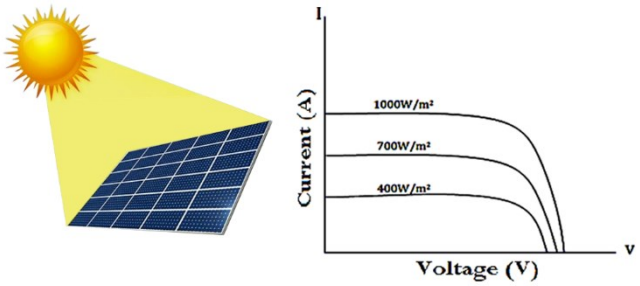


Gambar 2.5 Pengaruh suhu pada panel surya

2.2.2. Intensitas Sinar Matahari

Intensistas sinar matahari atau iradiasi matahari merupakan salah faktor penentu pada *solar panel* dikarenakan sinar matahari merupakan radiasi yang dapat menghantar menuju permukaan bumi yang ditangkap oleh *solar panel*. Pada radiasi matahari ini merupakan suatu hal yang dapat mempengaruhi sistem kerja *solar panel*. Pada radiasi ini adalah faktor yang menentukan hasil dari ukuran arus yang ada, jika *solar panel* menerima radiasi matahari dalam ukuran yang kurang maka arus yang dihasilkan akan mengecil sehingga yang terjadi atom elektron yang lepas menjadi sedikit serta arus listrik yang dihasilkan akan turun. Pada intensitas sinar matahari ini memiliki nominal tertinggi sebesar 1.000 W/m² ini mengacu pada jumlah energi cahaya yang jatuh pada area tertentu pada waktu tertentu. Pada

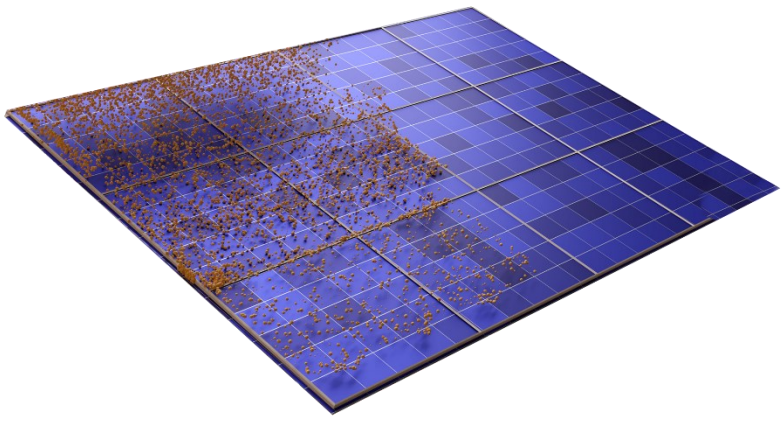
intensitas sinar matahari ini merupakan hal yang sangat berpengaruh pada arus serta *output* yang dihasilkan oleh sel surya dalam menerima radiasi sinar matahari tersebut [28].



Gambar 2.6 Pengaruh iradiasi matahari terhadap panel surya

2.2.3. Kebersihan *Solar Panel*

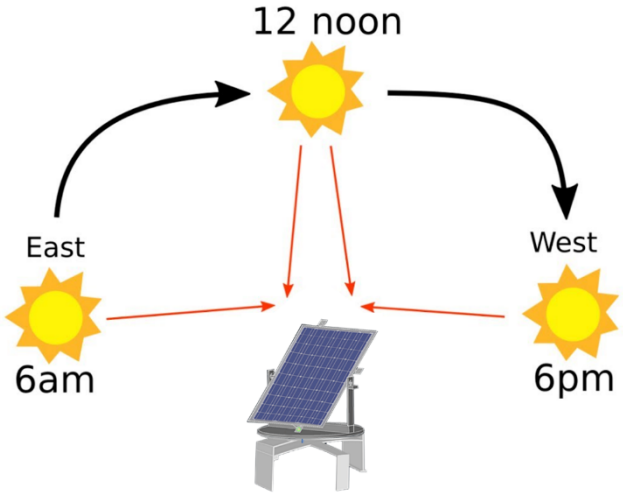
Pada kebersihan *solar panel* ini merupakan hal yang sangat mempengaruhi kinerja dalam menghasilkan daya listrik. Kebersihan *solar panel* sangatlah penting dikarenakan jika panel terhalang oleh kotoran atau debu serta kotoran sejenisnya maka sel surya tidak dapat menangkap radiasi matahari secara sempurna sehingga arus akan menjadi kecil serta akan berpengaruh pada energi listrik yang dihasilkan. Pada kebersihan *solar panel* merupakan suatu hal yang harus diperhatikan, dikarenakan hal tersebut dapat menggangu sistem *solar panel* dalam memproduksi energi listrik [28].



Gambar 2.7 Penutupan panel surya yang disebabkan oleh kotoran

2.2.4. Kinerja Arah *Solar Panel*

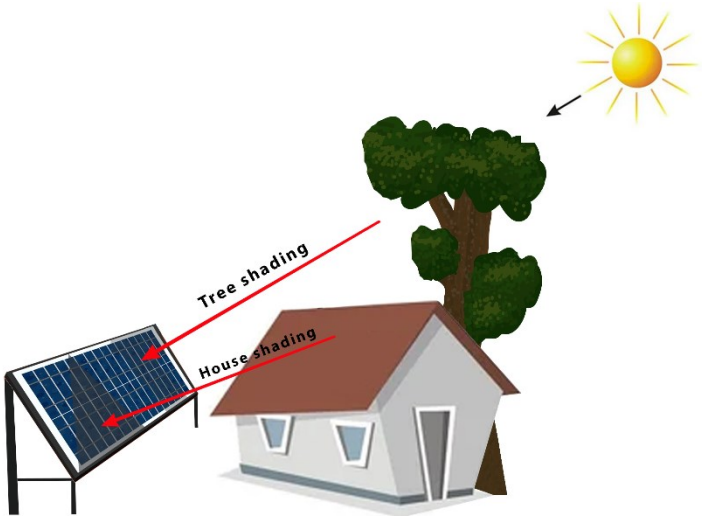
Arah *solar panel* merupakan faktor yang mempengaruhi kinerja dari *solar panel* dalam mendapatkan suatu daya yang dihasilkan. Pada *solar panel* akan mendapatkan suatu daya optimal pada saat *solar panel* tersebut arahnya berhadapan langsung dengan posisi matahari itu berada dengan sudut sebesar 90^{o}. Pada arah *solar panel* ini hal yang penting pada *solar panel* dalam menghasilkan daya keluarannya, yang dimana kinerja *solar panel* akan menjadi lebih baik jika panel tersebut menghadap langsung ke matahari serta sebaliknya [28].



Gambar 2.8 Arah *solar panel* terhadap pergerakan matahari

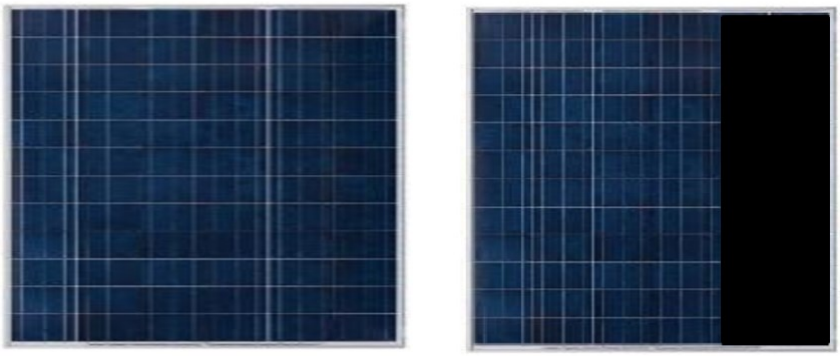
2.2.5. Efek *Partial Shading*

Efek *partial shading* merupakan efek yang sangat berpengaruh langsung terhadap kinerja *solar panel* itu sendiri. Pada *partial shading* ini merupakan suatu objek atau benda berwujud yang menutupi atau menghalangi sebagian sisi *solar panel* sehingga *solar cell* yang terdapat pada *solar panel* tidak dapat menghasilkan daya keluaran yang baik [29]. Pengaruh *partial shading* ini dapat menyebabkan hasil nilai dari daya keluaran dari panel suryanya menjadi rendah, sehingga hasil daya berdampak pada efisiensi daya yang ada yang menyebabkan efisiensi tersebut menjadi lebih kecil [30], [31]. Efek *partial shading* terhadap sel surya yaitu pada bagian sel yang terdapat pada panel surya tertutup oleh suatu objek, yang dimana pada panel surya yang tertutup tersebut nilai dari daya keluarannya mengalami penurunan tergantung besar dari *partial shading* tersebut [32], [33].



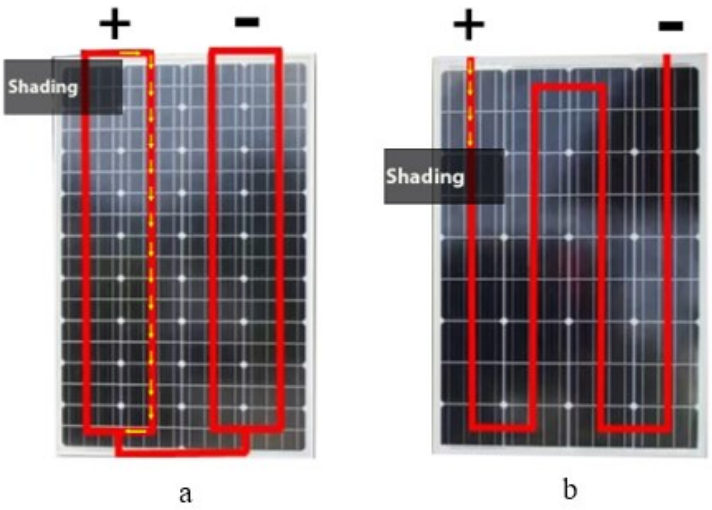
Gambar 2.9 Visualisasi *shading* objek pada panel surya

Pada Gambar 2.10 merupakan kondisi *solar panel* dalam kondisi yang berbeda.



Gambar 2.10 Kondisi *solar panel,* (a) Kondisi normal, (b) Kondisi *partial shading* [15]

Pada *partial shading* merupakan suatu hal yang tidak dapat dihidari oleh panel surya, hal tersebut dikarenakan benda atau objek yang menyebabkan *partial shading* akan selalu ada sehingga dapat dikatakan suatu hal yang sulit untuk menghindari *partial shading*. Pada efek yang ditimbulkan oleh *partial shading* terhadap panel surya memiliki dampak yang besar terutama pada bagian sistem didalamnya. Seperti yang diketahui panel surya merupakan suatu gabungan antar sel surya yang dihubungkan menjadi satu rangkaian, setiap sel yang terhubung tersebut terdapat dua jenis rangkaian yaitu seri dan paralel yang memiliki efek yang berbeda pada saat panel surya terkena *partial shading* [34].

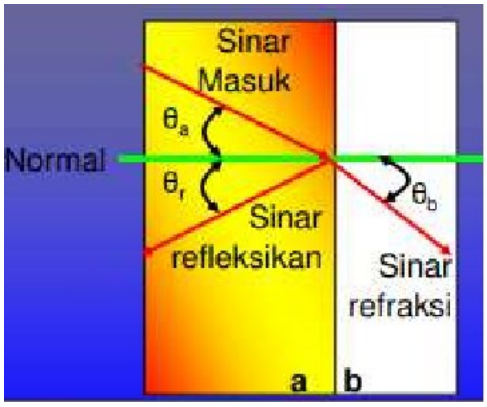


Gambar 2.11 Efek *partial shading* pada rangkaian panel surya, (a) Rangkaian paralel, (b) Rangkaian seri

Efek *partial shading* pada sistem yang terpasang pada sistem rangkaian sistem sel surya seperti pada Gambar 2.11, pada sistem rangkaian sel dengan hubungan seri pada saat terkena efek *partial shading* nilai tegangan panel surya menjadi turun serta mempengaruhi daya output menjadi lebih rendah dan sedangkan pada sistem rangkaian sel yang tersusun paralel pada saat terkena efek *partial shading* nilai tegangan panel surya juga menjadi turun akan tetapi pada arusnya akan dapat selalu bertambah sesuai dengan nilai iradiasi matahari yang didapat panel surya [34].

2.3. Kaca Film (*Solar Protection Film*)

Kaca film, *solar protection film*, atau *solar control film* adalah kaca yang berfungsi untuk memperkecil daya tembus sinar matahari, pelindung dari sinar infra merah serta ultraviolet. Pada penggunaannya kaca film ini digunakan sebagai pelindung dari cahaya, kaca film ini memiliki permukaan yang gelap sehingga dapat menyerap cahaya. Kaca film memiliki sifat material yang padat dan bening sehingga dapat digunakan pada permukaan yang relatif tipis. Pada kaca film ini dapat mengurangi kecerahan mahatari yang berlebih dengan permukaan yang gelap kaca film ini dapat menyerap dengan baik [18], [35]. Pada Gambar 2.12 merupakan visualisasi penembusan cahaya.



Gambar 2.12 Refleksi dan refraksi pada kaca film, (a) Refleksi, (b) Refraksi [18]

Pada kaca film ini memiliki suatu kemapuan untuk mengurangi radiasi sinar matahari pada saat radiasi sinar matahari tersebut mengenai kaca film. Pada kaca film ini dapat mengurangi radiasi sinar matahari dikarenakan kaca film ini memiliki kemampuan merefleksikan (memantulkan) cahaya matahari serta juga memiliki kemampuan untuk merefraksikan (membelokan) cahaya matahari. Pada kaca film ini dengan adanya kemampuan tersebut maka dapat digunakan sebagai komponen pengurang cahaya [18].

Pada kaca film ini terdapat beberapa sifat dilihat dari reaksi serta kemampuan pada saat mengenai cahaya, yaitu sebagai berikut:

2.3.1 *Visible Light Transmittance* (VLT)

Visible light transmittance atau biasa disebut sifat penerusan cahaya yang tampak adalah suatu besaran yang menyatakan besaran cahaya yang diteruskan, sehingga makin kecil nilai besar VLT maka makin gelap pula kaca filmnya. Pada umumnya pada hal tersebut kaca film dikelompokan berdasarkan tingkat kegelapannya. Berikut merupakan tingkat kegelapan kaca film berdasarkan VLT [18].

a. VLT 60% sampai 75% : Transparansi kegelapan kaca film 20%
b. VLT 50% sampai 59% : Transparansi Kegelapan kaca film 30%
c. VLT 30% sampai 49% : Transparansi Kegelapan kaca film 40%
d. VLT 11% sampai 29% : Transparansi Kegelapan kaca film 60%
e. VLT 2% sampai 10% : Transparansi Kegelapan kaca film 80%

2.3.2 *Total Solar Energy Rejection* (TSER)

Total solar energy rejection merupakan suatu nilai yang menyatakan besaran energi matahari yang diblokir kaca film. Kaca film yang memiliki nilai TSER yang besar memiliki tingkat kegelapan yang pekat sehingga kaca film tersebut sangat reflektif pada saat terkena cahaya. Pada TSER ini untuk melihat nilainya dapat dibandingkan pada tingkat kegelapan kaca film berdasarkan VLT [18].

2.3.3 *Ultraviolet Rejection* (UVR)

Ultraviolet rejection atau *bloked* adalah suatu penandaan kemampuan pada kaca film dalam melakukan penolakan pada sinar ultraviolet yang masuk. Pada bagian UVR ini tingkatan dalam melakukan penolakan dapat dilihat dari nilainya, semakin besar nilai UVR maka semakin baik pula kaca film dalam menolak sinar. Pada umumnya kaca film yang ada pada saat ini memiliki tingkat UVR dengan nilai lebih dari 90% [18].

2.3.4 *Infrared Rejection* (IRR)

Infrared rejection merupakan suatu kemampuan kaca film dalam menolak panas. Kemampuan menolak panas ini ditentukan dengan suatu nilai yang dimana makin besar nilai persentasenya maka makin baik pula kaca film dalam menolak panas. Pada sinar *infrared* ini merupakan suatu radiasi yang tidak tampak, sinar tersebut memiliki ukuran yang sangat kecil yaitu 700 hingga 2.500 nanometer [18].

2.4. Mikrokontroler Arduino Mega

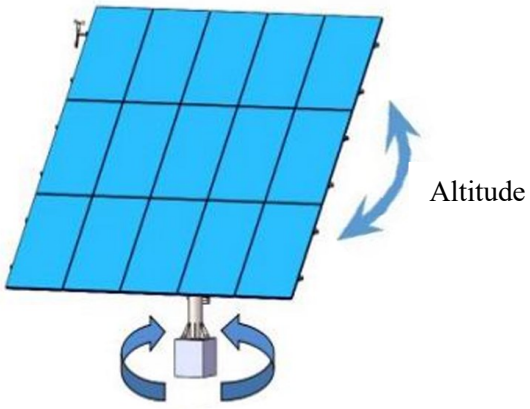
Mikrokontroler arduino mega atau biasa disebut arduino mega 2560 merupakan suatu mikrokontroler yang memiliki bentuk *single board* yang dimana pada mikrokontroler ini memiliki sifat *open source*. Fungsi utama dari arduino mega ini yaitu dirancang sebagai perangkat pengotrol elektronik untuk memudahkan pekerjaan disegala bidang. Pada arduino ini merupakan suatu mikrokontroler yang memiliki basis pada chip dengan jenis chip yaitu ATmega2560 yang digunakan sebagai sistem pengendalian utama. Pada alas atau

board terdapat pin digital I/O yaitu dengan jumlah 54 pin. Pada pin digital I/O yang dimana 54 pin tersebut yaitu diantaranya terdapat pin analog input berjumlah 16 pin, PWM berjumlah 15 pin, serta UART berjumlah 4 pin. Pada arduino mega ini dapat dikatakan lengkap dikarenakan didalamnya terdapat power jack DC, ICSP header, port USB, reset button, serta oscillator 16 MHz [36]. Pada Gambar 2.13 merupakan bentuk fisik dari arduino mega 2560.

Gambar 2.13 Mikrokontroler arduino mega 2560 [36]

2.5. *Solar Tracking Dual-Axis*

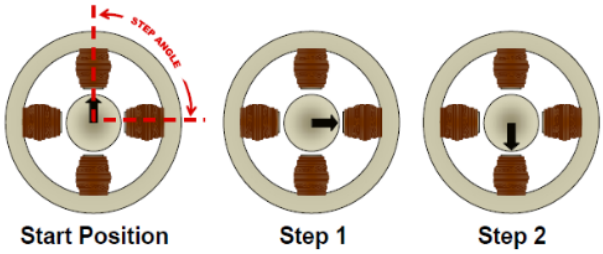
Pada panel surya *solar tracking dual axis* adalah panel surya yang memiliki sistem penggerak dua sudut. Pergerakan pada panel surya *solar tracking dual axis* yaitu sudut *azimuth* serta *altitude*. Dengan pergerakan dua sudut panel surya *solar tracking dual axis* dapat bergerak dengan mengikuti arah pergerakan matahari dengan dikombinasikan dengan sistem kendali sehingga dapat memaksimatlkan *output* yang didapat dari matahari [37].



Gambar 2.14 Panel surya *solar tracking dual axis*

2.6. Motor *Stepper*

Motor *stepper* merupakan suatu alat penggerak yang rotasinya bergerak berdasarkan langkah serta memiliki kemampuan dalam sistem kontrolnya secara *open loop*. Motor *stepper* adalah suatu motor DC yang tidak terdapat komutator, yang dimana pada motor *stepper* ini hanya terdapat suatu kumparan di statornya serta bagian rotornya terdapat magnet permanen. Pada motor *stepper* ini berdasarkan konstruksi yang telah dijelaskan sebelumnya, motor *stepper* ini dapat diatur pada posisinya sesuai keinginan serta kebutuhan [38]. Pada Gambar 2.15 merupakan *start position* pada motor *stepper*.



Gambar 2.15 *Start position* pada motor *stepper* [39]

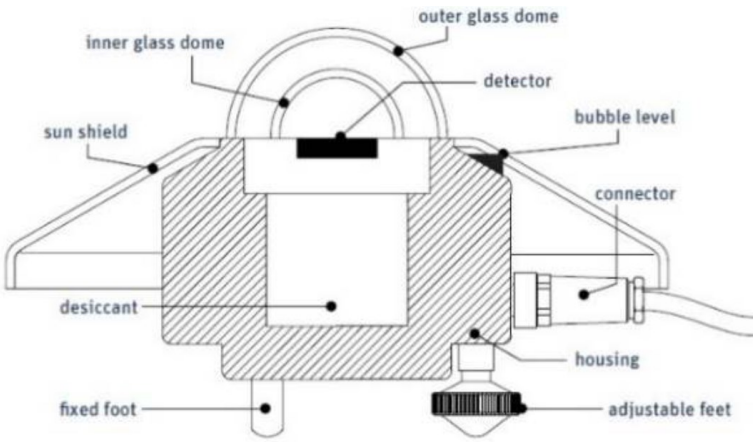
Pada motor *stepper* ini berotasi pada sudut *step* berdasarkan pada motor yang digunakan. Pada *step size* atau ukuran pada motor *stepper* dapat berada pada sudut 0,9º sampai dengan 90º. Pada sudut *step* ini memiliki variasi sudut contohnya pada sudut 15º, 30º, 45º, serta seterusnya sesuai dengan kondisi serta kebutuhan. Pada posisi rotasinya yang cenderung eksak serta stabil. Pada motor *stepper* ini dilihat dari variasi sudutnya membuat sistem pengontrolan pada sistemnya dapat lebih mudah [40]. Pada Gambar 2.16 merupakan bentuk dari motor *stepper.*

Gambar 2.16 Bentuk fisik dari motor *stepper* [38]

2.7. Pyranometer

Pada komponen pyranometer ini merupakan suatu alat yang digunakan untuk melakukan pengukuran pada sinar radiasi matahari. Komponen pyranometer ini dapat melakukan pengukuran pada radiasi yang berbeda yaitu pada radiasi global ataupun pada radiasi *diffuse* dengan ukuran spektrumnya sebesar 300 nm sampai 3000 nm. Pada komponen pyranometer ini dapat mengukur beberapa radiasi yaitu radiasi global atau *Global Horizontal Irradiance* (GHI), radiasi baur atau *Diffuse Horizontal Irradiance* (DHI), serta *Direct Normal Irradiance* (DNI) yang selalu tegak lurus terhadap sinar datang pada garis lurus dari arah matahari di langit. Berikut pada Gambar 2.17 merupakan bentuk fisik dari komponen pyranometer [41].

Gambar 2.17 Pyranometer



Gambar 2.18 Struktur komponen pyranometer [41]

2.8. *Light Dependent Resistor* (LDR)

Light dependent resistor atau biasa disebut sensor LDR merupakan suatu jenis resistor yang dapat mengalami suatu perubahan terhadap nilai resistansinya tergantung dari besar nilai intensitas cahaya yang didapatkan. Pada saat kondisi cahaya tidak terang atau gelap pada LDR ini nilai tahanannya menjadi makin besar, akan tetapi pada saat kondisi cahayanya terang nilai tahanan LDR makin kecil. Pada LDR ini merupakan komponen yang sangat penting dikarenakan pada komponen ini merupakan perangkat pendeteksian yang menentukan besar dari nilai pada intensitas cahaya yang diterima [11]. Pada Gambar 2.19 merupakan bentuk fisik dari komponen *light dependent resistor*.

Gambar 2.19 Komponen *light dependent resistor* [42]

Pada komponen LDR ini merupakan sebuah semikonduktor berbentuk cakram yang terdapat dua buah batang elektroda yang terpasang di permukaannya. Pada bagian cakramnya dalam keadaan kondisi gelap nilai bahannya menghasilkan suatu elektron bebas yang kecil yang berdampak pada muatan elektron yang jumlahnya menjadi sedikit. Pada penggunaan LDR untuk perangkat *solar panel* biasanya memiliki 4 buah sensor LDR yang digunakan untuk melakukan pendeteksian pergerakan matahari dari berbagai arah [11].

2.9. *Digital Clamp Multimeter*

Digital clamp multimeter atau tang ampere multimeter digital adalah alat ukur yang digunakan untuk mengukur arus listrik yang ada pada kabel konduktor yang terdapat aliran arus dengan kedua penjepit atau *clamp* dengan tidak berkontak

secara langsung pada terminalnya, sehingga tidak mengganggu rangkaian listrik yang diukur tersebut. Penggunaan tang ampere untuk mengukur arus yang mengalir yaitu hanya dengan menekan tuas untuk membuka kedua penjepit atau *clamp* selanjutnya tempatkan dan masukan penjepit tersebut pada area sekeliling kabel listrik yang diukur tersebut dan nilai arus akan tertapil. *Digital clamp multimeter* penggunaannya sangatlah mudah dan aman hal tersebut dikarenakan untuk mengukur arus pada suatu rangkaian listrik hanya dengan meletakan *clamp* pada area kabel, serta aman tanpa bersentuhan dengan rangkaian listrik sehinnga terhindar dari sengatan listrik yang berbahaya [43].

Digital clamp multimeter yang digunakan pada penelitian ini juga terdapat fitur multimeter sehingga *digital clamp multimeter* ini terdapat kabel *probe* yang berjumlah dua yang dapat digunakan untuk melakukan pengukuran tegangan DC, resistansi, tegangan AC, dan frekuensi. Penggunaan fitur *multimeter* untuk melakukan pengukuran yaitu dengan menghubungkan kedua *probe* kedalam rangkaian listrik yang diukur tersebut dan nilai pengukuran akan tertampil. Fitur *multimeter* pada *digital clamp multimeter* sangatlah membantu dikarenakan pada fitur ini dapat melakukan pengukuran nilai tegangan [43].

Gambar 2.20 *Digital clamp multimeter*

2.10. *Thermogun*

Thermogun biasa disebut termometer genggam atau terrmometer inframerah merupakan alat ukur pengukur suhu yang penggunaannya dengan melakukan pengukuran dengan jarak tertentu. *Thermogun* merupakan termometer

non-kontak yang pengukurannya dari kejauhan dengan media perantaranya menggunakan radiasi inframerah yang memancarkan menuju objek atau benda yang diukur. Penggunaan *thermogun* sebagai alat pengukur suhu sangatlah efisiensi dikarenakan penggunaannya yang cepat, sederhana, serta mudah [44].

Gambar 2.21 Alat pengukur suhu *thermogun*

Alat pengukur suhu *thermogun* yang terlihat pada Gambar 2.21 merupakan termometer yang cara kerjanya yaitu dengan menerima radiasi panas yang ada pada bidang yang terkena panjang gelombang inframerah yang selanjutnya dikonversi menjadi nilai besaran suhu. Pada *thermogun* yang digunakan pada penelitian ini merupakan jenis termometer industri yang dilengkapi dengan detector radiasi panas yaitu *thermal detector* yang memiliki sensitivitas pada bidang inframerah sebesar 8 sampai 14 μm, dengan ketelitian sebesar 0,1 s.d. 1 % pada nilai pembacaannya. Hasil yang tertampil pada *thermogun* tersebut sangatlah dipengaruhi oleh jarak pengukuran dari objek atau benda yang akan dikur dengan *thermogun* serta emisivitas benda atau radiasi panas yang ada pada bidang yang terkena panjang gelombang inframerah terhadap thermogun tersebut. Penggunaan *thermogun* industri biasa digunakan untuk keperluan pengukuran suhu pada suatu objek atau benda padat yang bersifat mekanikal ataupun elektrikal, sehingga penggunaannya sangatlah cocok digunakan untuk kegiatan pengamatan ataupun penelitian guna mengetahui suhu pada objek yang akan diamati atau diteliti [44].

Pada penggunaannya *thermogun* untuk melakukan pengukuran suhu sangatlah mudah yaitu dengan cukup mengatur tombol besaran satuan suhu dalam celsius atau farenheit selanjutnya arahkan *thermogun* pada objek atau benda yang akan diukur suhunya selanjutnya tekan pelatuk tuas yang berada pada bagian

genggaman dan suhupun akan tertampil pada layar *thermogun*. Pengukuran suhu dengan menggunakan *thermogun* merupakan langkah yang efisiensi sehingga dapat dengan mudah mengukur suhu yang akan diukur tersebut, selain cara pengoprasiannya yang mudah, penggunaanya yang dapat dikatakan aman dikarenakan dalam melakukan pengukuran suhu tersebut hanya dengan mendekatkan *thermogun* dengan objek atau benda yang akan diukur tersebut tanpa harus melakukan kontak dengan objeknya. Penggunaan *thermogun* merupakan langkah yang tepat untuk melakukan pengukuran pada penelitian ini sehingga objek yang akan diukur suhunya aka naman dari kontak benda lain sehinnga tidak akan mempengaruhi hasil dari penelitian yang dilakukan [44].

2.11. Perhitungan Daya pada *Solar Panel*

Pada penelitian ini terdapat beberapa perhitungan guna mendapatkan hasil dari penelitian. Perhitungan yang dihunakan pada penelitian ini merupakan perhitungan daya yang berkaitan dengan pembahasan *solar panel* pada penelitian ini yaitu daya output, serta perhitungan efisiensi daya normalisasi. Berikut merupakan perhitungan daya pada *solar panel*.

1. Perhitungan Daya *Output*

Mengetahui daya *output* pada *solar panel* dapat dihitung dengan Persamaan (2.1) [45].

$$Pout = V\ x\ I \tag{2.1}$$

Keterangan:

P*out* = Daya keluaran (Watt)

V = Tegangan sel surya (Volt)

I = Arus sel surya (Ampere)

2. Perhitungan Efisiensi Daya Normalisasi

Mengetahui efisiensi yang dihasilkan pada *solar panel* dapat dihitung dengan Persamaan (2.2) [46].

$$\eta_n = \frac{Pact}{Pmax}\ x\ 100\% \tag{2.2}$$

Keterangan:

η_n = Efisiensi daya normalisasi (%)

P*act* = Daya *output* yang terukur pada modul surya (Watt)

P*max* = Daya maksimal modul surya (Watt)

2.12. Kajian Pustaka

Pada bagian kajian pustaka ini merupakan penelitian terdahulu. Pembahasan berkaitan dengan pengaruh efek *shading* pada efisiensi panel surya 85 WP dengan sistem *solar tracking dual axis*. Berikut beberapa penelitian terdahulu yang dijadikan suatu landasan pada penelitian ini.

Pada penelitian [15] melakukan perbandingan terhadap daya keluaran panel surya statis berkapasitas 250 Wp dalam kondisi normal dan kondisi *partial shading*. Hasil pada penelitian ini yaitu menunjukan suatu perbedaan pada saat kondisi normal daya keluaran maksimum yang dihasilkan yaitu 493,14 Watt serta pada daya keluaran minimum yang dihasilkan besar nilainya 77,63 Watt, kemudian pada saat kondisi *partial shading* pada daya keluaran maksimum yang dihasilkan besar nilainya yaitu 217,17 Watt serta pada daya keluaran minimum yang dihasilkan besar nilainya 91,24 Watt. Pada paneliatian ini efisiensi yang dihasilkan akibat *partial shading* yaitu 3% sampai 4%.

Penelitian yang dilakukan [47] pengujian pada panel surya dengan jenis *polycriscalline* yang terkena efek bayangan dari pohon dan bagunan serta melakukan pengukuran pada daya keluaran terhadap bagian panel surya yang tertutup bayangan. Hasil yang didapat pada penelitian ini yaitu pada daya keluaran yang dihasilkan sebelum tertutup bayangan besar dayanya 51,75 Watt, pada saat permukaan panel surya tertutup 84,217% bagian dasarnya, daya yang diperoleh menjadi menurun yaitu sebesar 29,49 Watt. Pada penelitian ini menyatakan bahwa makin besar nilai bayangan yang menutupi bagian permukaan panel surya maka makin kecil daya yang dihasilkan panel surya.

Pada penelitian yang dilakukan oleh [48] adalah penelitian analisa daya pembangkit *photovoltaic array* 9x10 Wp mendapat efek terbayang (*shading effect*). Penelitian ini melakukan pengujian pengaruh *shading* terhadap kinerja panel surya,

penelitian menggunakan 2 metode yaitu menggunakan *prototype* dan simulasi, penelitian ini menggunakan komponen dioda yang berguna untuk melakukan pencegahan kerusakan yang terjadi pada panel surya akibat dari pengaruh *shading*. Hasil yang didapat daya tertinggi saat kondisi normal yang dihasilkan metode *prototype* yaitu sebesar 69,1 Wp dan pada metode simulasi sebesar 67,75 Wp, serta daya tertinggi saat kondisi *shading* yang dihasilkan metode *prototype* yaitu sebesar 51,4 Wp dan pada metode simulasi sebesar 33,06 Wp. Pada penelitian ini daya puncak tertinggi didapat dari jumlah radiasi yang diserap oleh panel surya tersebut.

Hasil dari penelitian [49] membahas tentang simulator panel surya ekonomis untuk pengujian MPPT pada kondisi berbayang sebagian. Pada penelitian ini yaitu melakukan suatu pengujian simulasi panel surya yang ekonomis dengan sistem yang beroprasi dengan metode *maximum power point tracking* (MPPT). Pada simulasi sistem bekerja dengan pengaturan *power supply* DC yang digunakan untuk mewakili kondisi iradasi serta dengan *standart test conditions* (STC) untuk menirukan panel surya dalam keadaan iradasi. Pengujian dilakukan dengan kondisi iradasi yang bervariasi yaitu sekitar 200 sampai 1.000 W/m^2. Hasil pengujian dilakukan dengan 4 kondisi, yaitu pada kondisi pertama panel surya disimulasikan pada saat panel surya 1 dengan variasi iradiasi 200 s.d.1.000 W/m^2 dan panel surya 2 dengan iradiasi 0 W/m2 dengan hasil pengujian panel surya mendapatkan iradasi yang merata. Pada kondisi kedua disimulasikan pada saat panel surya 1 dengan variasi iradiasi 1.000 W/m^2 dan panel surya 2 dengan iradiasi 200 s.d. 500 W/m^2 dengan hasil pengujian terlihat perubahan iradiasi berdambak pada perubahan tegangan di atas 20 V serta adanya lebih dari satu titik daya maksimum yang kondisinya sama pada keadaan berbayang. Pada kondisi ketiga disimulasikan pada saat panel surya 1 dengan variasi iradiasi 300 sampai 1.000 W/m^2 dan panel surya 2 dengan iradiasi 200 W/m^2 dengan hasil pengujian terlihat perubahan iradiasi berdampak pada perubahan tegangan yang nilainya lebih kecil dari 20 V serta adanya lebih dari satu titik daya maksimum yang kondisinya sama pada keadaan berbayang. Simulator dapat digunakan untuk mensimulasikan keadaan panel surya saat mendapatkan perbedaan iradiasi dalam kondisi berbayang mendakati kondisi aslinya.

Pada penelitian [50] membahas pengaruh kerusakan diode *bypass* pada

performa 50 modul *photovoltaic* dalam kondisi *partial shading*. Penelitian ini melakukan simulasi pada model panel surya yang berjumlah 50 *photovoltaic* dalam kondisi posisi *partial shading* yang berubah serta kerusakan yang terjadi pada *dioda bypass*. Penelitian ini menggunakan variasi pada iradiasinya yaitu 100W/m^2sampai 1000W/m^2 dengan suhu 30ºC dengan mengatur konfigurasi pada sistem *photvoltaic farm*. Hasil yang didapat yaitu panel surya yang mengalami *partial shading* sebanyak 15 *photovoltaic* dengan didapatnya daya maksimum sebesar 73,87 Watt dengan mengalami kenaikan daya sebesar 72%. Sistem rekonfigurasi yang diterapkan pada *photovoltaic farm* dapat dikatakan efektif dikarenakan dapat mengurangi kerugian daya pada sistem yang mengalami *partial shading* serta kerusakan yang terjadi pada bagian komponen *diode bypass*.

Penelitian [19] membahas panel surya dengan sistem Array yang tersusun sebanyak 25 modul yang terkonfigurasi sebayak 5 string dengan kapasitas daya 75 Wp yang tertutup oleh bayangan sebagian dengan berbagai variasi skema penutupan dengan persentase dengan objek penutup benda berupa lembaran kardus, penutupan dilakukan dengan persentase 0%, 12%, 24%, 36%, 40%, 52%, dan 80%, pada setiap persentase penutupan dilakukan pengamatan pada setiap daya yang dihasilkan panel surya. Hasil penelitian terdapat penurunan pada setiap besar area penutupan persentasenya yaitu: penutupan 0% daya yang dihasilkan sebesar 67 watt, penutupan 12% daya 63 watt, penutupan 24% daya 35 watt, penutupan 36% daya 24 watt, penutupan 40% daya 19 watt, penutupan 52% daya 9 watt, penutupan 80% daya 1,5 watt.

Berdasarkan dari penelitian [15], [47], [48], [49], [50], [19] merupakan rujukan dari kajian pustaka pada penelitian sebelumnya, maka dari itu pada penelitian ini akan meneliti efek *shading* dengan media *solar protection film* pada *solar tracking system dual axis system* dengan jenis panel surya *monocrystalline* yang memiliki kapasitas sebesar 85 WP dengan waktu pengambilan data selama 21 hari dimulai pada jam 6 pagi sampai dengan jam 6 sore dengan selisih waktu 1 jam lamanya.