

BAB II

LANDASAN TEORI

2.1 Tinjauan Penelitian Terdahulu

Penelitian pernah dilakukan oleh Rita (Rita Hariningrum, 2021) terkait pengaruh kemiringan panel sudut surya terhadap output daya listrik. Pengaruh sudut kemiringan panel didapat dari besarnya sudut teta (θ) antara arah datangnya Cahaya matahari terhadap sudut tegak lurus bidang panel dengan cakupan sudut antara $0^\circ - 80^\circ$ (interval 10°). Hasil output daya panel surya terhadap perubahan sudut kemiringan panel memiliki hasil berbanding tegak lurus dengan besaran intensitas cahaya yang diterima oleh panel. Dari penelitian yang dilakukan, Sudut optimal panel pada pagi hari yaitu saat sudut 40° ketika pukul 10.00 – 14.00 dan pada sore hari didapat waktu optimal pada pukul 16.00 dengan sudut 50° . Daya maksimum dihasilkan oleh sudut optimal sebesar 40° dengan daya yang dihasilkan sebesar 10.2 watt dengan intensitas cahaya yang dihasilkan sebesar 37.8k Lux.

Penelitian lainnya pernah dilaksanakan oleh Suwarti dkk (Suwarti dkk, 2018), melakukan uji eksperimental pengaruh pengaruh output daya panel surya diantaranya, intensitas matahari, dan suhu permukaan panel surya, serta sudut pengarah. Faktor pengaruh dari intensitas cahaya matahari diperoleh saat selang perubahan waktu sehingga intensitas yang didapat bervariasi dengan kondisi sudut panel surya akan ditetapkan bernilai 90° dan suhu permukaan panel surya sama. Sedangkan variasi suhu permukaan panel surya diperoleh melalui cara melakukan variasi suhu ketika kondisi sudut pengarah akan ditetapkan bernilai 90° dengan

intensitas cahaya dijaga agar tetap sama. sudut pengarah dapat diperoleh melalui memvariasi sudut pengarah terhadap arah datang sinar matahari serta intensitas dan suhunya yang dijaga agar tetap sama. Hubungan faktor pengaruh terhadap output listrik panel surya yaitu diantaranya semakin tinggi intensitas cahaya matahari yang terserap maka arus listrik yang dihasilkan akan semakin tinggi pula, serta tegangan listrik yang diperoleh akan cenderung tetap tidak mengalami kenaikan. Performa panel surya juga dipengaruhi oleh temperatur dengan kondisi semakin besar temperaturnya akan menghasilkan tegangan dari sel surya semakin rendah serta arus listrik yang diperoleh cenderung tetap tidak mengalami perubahan. Sudut pengarah dapat berpengaruh terhadap kinerja dari panel surya itu sendiri yaitu semakin nilainya mendekati nilai ketegak lurus pada arah datangnya cahaya matahari sehingga tegangan dan arus yang dapat diperoleh akan semakin besar.

Penelitian lain dilakukan oleh Rusman Rusman (Rusman Sinaga. 2011), yaitu membahas pengaruh parameter lingkungan serta penempatan posisi modul terhadap luaran energi PLTS solar sel, 50WP 12V. Penelitian tersebut memiliki tujuan untuk memberikan bukti bahwa terdapat pengaruh dari parameter lingkungan yaitu suhu, dan iluminasi radiasi sinar matahari, serta kelembaban dan penempatan posisi modul pada keluaran daya energi listrik PLTS. Adapun cara yang digunakan pada penelitian yaitu berupa pendekatan eksperimen dan secara deskriptif. Hasil dari penelitian menunjukkan bahwa iluminasi dari radiasi sinar matahari memiliki pengaruh pada output daya untuk PLTS. Pada penelitian ini mendapatkan data bahwa dengan peningkatan Iluminasi bertambah 1 Lux maka

output daya panel listrik akan meningkat sebanyak 0.001Wh menggunakan asumsi dari suhu konstan. Faktor kedua yaitu kelembaban yang mana tidak memiliki pengaruh terhadap output daya dari PLTS dan pengaruh dari suhu dapat berakibat kepada output daya PLTS dengan kondisi semakin bertambah suhu panel surya, maka daya listrik yang diperoleh akan semakin berkurang. Penempatan modul PLTS tegak lurus dengan sinar matahari menghasilkan output daya listrik yang maksimal.

Penelitian variasi sudut panel surya terhadap arah datang matahari pernah diteliti oleh Gi Yong Kim dkk. (Gi Yong Kim dkk, 2020) menemukan sudut kemiringan panel optimal dari sistem fotovoltaik adalah hal penting sebagai penentu jumlah sinar matahari yang diterima secara efisien. Beberapa penelitian menggunakan beragam metode penelitian mencari sudut kemiringan yang memaksimalkan jumlah radiasi yang diterima oleh panel surya. Namun, studi terbaru menemukan efisiensi konversi tidak semata-mata bergantung pada jumlah radiasi yang diterima. Dalam studi ini, mengusulkan model optimasi sudut kemiringan panel surya menggunakan algoritma pembelajaran mesin. Daripada mencoba memaksimalkan radiasi yang diterima, tujuannya untuk menemukan sudut kemiringan yang memaksimalkan konversi energi sistem fotovoltaik (PV). Dari berbagai faktor seperti cuaca, tingkat debu, dan tingkat aerosol, dibangun lima model peramalan menggunakan regresi linier (LR), model yang dihasilkan menunjukkan peningkatan keluaran PV dibandingkan model sudut optimal dari keluaran modul PV adalah diantara sudut $0-29^\circ$ dari ketegak lurus cahaya.

Banyak penelitian membahas keterkaitan faktor dengan output penelitian yang mana digunakan untuk pengujian faktor-faktor yang mempengaruhi output daya pada PV panel surya. Metode pengujian statistik yang sering digunakan adalah uji Analisa varian (ANOVA). Beberapa penelitian terbaru, menggunakan metode ANOVA untuk menguji faktor-faktor mempengaruhi kinerja panel surya. Adnan (Adnan dkk, 2019) melakukan pengujian faktor Intensitas cahaya, Temperatur, dan kecepatan angin guna mendapat hasil keputusan faktor paling signifikan mempengaruhi output daya PV panel surya. Amit (Amit dkk, 2019) meneliti pengaruh faktor blower dan temperature pada output daya PV panel surya dengan teknologi pelepasan kalor secara otomatis (CG-CPCS). Kudelas (Kudelas dkk 2019) menguji signifikansi faktor temperature sel surya dan usia sel surya terhadap output daya dari panel surya.

Berdasarkan hasil studi literatur dari penelitian sebelumnya, penulis merangkum dari 3 penelitian sebelumnya yang mana pada penelitian ini mengisi celah penelitian sebelumnya (research gap) terkait :

1. Penelitian terkait sudut optimum kemiringan panel surya sudah dilakukan oleh Gi Yong Kim dengan hasil sudut $0-30^{\circ}$, sehingga pada penelitian ini ingin lanjutkan signifikansi perubahan sudut tilting pada range tersebut.
2. Menjawab atas hasil penelitian yang dilakukan oleh Rusman (2012) dengan hasil penelitian hubungan temperature terhadap output daya secara pengujian statistik adalah tidak signifikan berpengaruh terhadap output daya panel surya yang mana berlawanan dengan teori yang ada. Sehingga penelitian ini,

menjawab research gap tersebut dengan melakukan eksperimen uji statistik variasi temperatur panel surya terhadap output panel surya.

3. Manfaat dari eksperimen yang akan dikerjakan oleh penulis ialah sebagai sarana untuk menambah khasanah dan referensi penelitian terkait validasi terhadap teori faktor-faktor yang mempengaruhi Output daya panel surya (PLTS).

2.2 Celah Penelitian

Tabel 2.1 Rangkuman Hasil Penelitian Terdahulu

Author	Topik Penelitian	Metode	Variabel (variasi masing-masing faktor)	Alat yang Dipakai	Hasil
Amit et al [2019]	<i>A review of solar photovoltaic panel cooling systems with special reference to Ground coupled central panel cooling system (GC-CPCS)</i>	Uji Anova	1. Blower factor (m/s) 2. Temperatur result (°C)	Panel surya	1. Flow rate Blower factor signifikan mempengaruhi output daya 2. Temperatur signifikan mempengaruhi output daya
Kudelas et al [2019]	<i>Investigation of Operating Parameters and Degradation of Photovoltaic Panels in a Photovoltaic Power Plant</i>	Uji Anova	1. Temperatur (°C) 2. Usia PV panel surya (tahun)	Panel surya skala industri	1. Temperatur signifikan mempengaruhi output daya 2. Usia PV panel surya tidak signifikan berpengaruh terhadap output daya

Tabel 2.2 Rangkuman Hasil Penelitian Terdahulu Lanjutan 1

Author	Topik Penelitian	Metode	Variabel (variasi masing-masing faktor)	Alat yang Dipakai	Hasil
Gi Yong Kim [2020]	Solar Panel Tilt Angle Optimization Using Machine Learning Model: A Case Study Of Daegu City, South Korea	Linier regression	1. Kemiringan panel (10°-30°)	Panel surya yang dapat disetting sudut kemiringan	Sudut optimal modul PV adalah 1–30 . Sebagian besar modul mengalami peningkatan kecil dalam keluaran PV pada sudut optimal tersebut.
Rusman [2011]	Pengaruh Parameter Lingkungan Dan Penempatan Posisi Modul Terhadap Luaran Energi PLTS Menggunakan Solar Sel, 50WP 12V	Uji Anova	1. variasi waktu (9.00-15.00) 3. Intensitas cahaya (W/m ²) 4. Temperatur (°C) 5. humiditas (%)	Panel surya dengan posisi horizontal	1. Kemiringan sudut berbanding lurus dengan output daya 2. Intensitas cahaya berbanding lurus dengan output 3. Temperatur tidak berpengaruh terhadap output daya 4. Humiditas tidak berpengaruh terhadap output daya
		analisa trend grafik	1. Kemiringan panel (10°-120°) 2. Daya Output (W)		Kemiringan sudut optimum didapatkan dengan menghadapkan panel surya tegak lurus (90) terhadap arah datangnya matahari

Tabel 2.3 Rangkuman Hasil Penelitian Terdahulu Lanjutan 2

Author	Topik Penelitian	Metode	Variabel (variasi masing-masing faktor)	Alat yang Dipakai	Hasil
Rita, [2021]	Menganalisis Terkait Pengaruh Kemiringan Panel Sudut Surya Terhadap Output Daya Listrik.	Analisa trend grafik	1. Kemiringan panel (10°-90°) 2. variasi waktu (8.00-16.00) 3. Daya output	Panel surya dengan posisi horizontal	1. Kemiringan sudut berbanding lurus dengan output daya 2. Sudut optimum adalah mendekati dari tegak lurus dengan panel
Suwarti, dkk [2018]	Uji Eksperimental Pengaruh Pengaruh Intensitas Matahari, Suhu Permukaan, Dan Sudut Pengarah Terhadap Daya Panel Surya.	Analisa trend grafik	1. Kemiringan panel (50°-90°) 3. Temperatur panel (27°C-54°C) 4. Intensitas cahaya (W/m2)	Panel surya dengan posisi dapat di miringkan secara fleksibel	1. Daya output sebanding dengan intensitas cahaya 2. Sudut optimum adalah 90 terhadap panel 3. Dalam satu hari, panel surya fleksibel mengikuti arah matahari lebih optimal dibanding dengan panel surya posisi horizontal
Adnan Etal [2019]	Analysis Of Effects Of Solar Irradiance, Cell Temperature And Wind Speed On Photovoltaic Systems Performance	Uji Anova	1. Intensitas cahaya (W/m2) 2. Temperatur sel panel surya (°C) 3. Kecepatan angin (m/s)	Panel surya <i>off grid</i> 100WP	1. Intensitas cahaya paling signifikan mempengaruhi output daya 2. Temperatur cahaya signifikan ke dua mempengaruhi output daya 3. Kecepatan angin tidak signifikan mempengaruhi output daya

2.3 Energi Surya

Matahari termasuk kategori sumber energi terbarukan yang merupakan energi utama yang dapat menghasilkan energi melimpah ke permukaan bumi. Ketika matahari bersinar cerah, energi yang disalurkan sebesar 1 kW per-meter persegi. Sekitar 30% energi yang tersalur dipantulkan kembali ke atmosfer, Sebesar 47% dikonversi dalam bentuk panas, Sebesar 23% dapat dimanfaatkan untuk seluruh keperluan kehidupan di muka bumi berupa penerangan, Sebesar 0.25% masuk kedalam angin, gelombang maupun arus, dan sisanya dimanfaatkan dalam proses fotosintesis tumbuh-tumbuhan yang nantinya dapat dimanfaatkan dalam pembentukan bahan bakar fosil. Oleh sebab itu, dapat dikatakan bahwa matahari merupakan sumber energi paling besar yang ada di bumi. (Saiful Manan, 2009 :2).

Energi yang dihasilkan matahari merupakan energi yang tergolong ramah lingkungan karena tidak menghasilkan polusi serta termasuk energi terbarukan. Energi matahari ini memiliki beberapa kekurangan yakni tidak konstan/kontinyu ada sepanjang waktu dan spesifikasi sel surya yang masih terbatas. Karena kekurangan tersebut, dibutuhkan adanya sistem batere untuk menyimpan energi surya yang tidak kontinyu dan kolektor energi surya yang memiliki permukaan luas untuk mengkonsentrasikan energi tersebut (Gede Widayana, 2012 : 39 - 40).

Energi yang dihasilkan dari cahaya matahari ini berbentuk radiasi elektro magnetik yang dipancarkan ke permukaan bumi dalam bentuk sinar matahari yang terdiri dari foton. Energi matahari yang terpancar sampai ke permukaan bumi,

disebut dengan radiasi surya. Rata-rata jumlah intensitas cahaya radiasi sinar matahari yang terpancar di Indonesia yaitu sekitar 4-5 jam/hari. Banyaknya energi matahari di suatu daerah dapat diketahui melalui perhitungan dengan persamaan yaitu energi surya yang diproduksi didapat dari banyaknya rata-rata intensitas radiasi surya dikali dengan luasnya area dari bidang panel surya, seperti persamaan berikut (Retno Aita Diantari, dkk, 2018 : 3) :

$$E = I \times A \quad (2.1)$$

Keterangan :

E = Energi surya dalam satuan Watt (W)

I = rata-rata intensitas radiasi yang masuk selama satu jam dalam satuan daya per area (W/m²)

A = Luas Area (m²)

2.4 Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS)

PLTS adalah pembangkit listrik yang memanfaatkan cahaya yang dihasilkan dari matahari dengan konversi energi radiasi matahari menjadi energi listrik. Kemudian energi listrik yang dihasilkan ini digunakan secara langsung atau disimpan dahulu dalam baterai. Pada PLTS memiliki keluaran berupa tegangan DC (*Direct Current*) yang dikonversi menjadi tegangan AC (*Alternating Current*) melalui sebuah inverter. (Meita Rumbayan, 2020 : 4-5).

2.5 Sel Surya

Sel surya pertama kali ditemukan oleh Edmund Becquerrel dengan penemuannya yaitu konsep efek *photovoltaic*. Jenis semikonduktor yang tersusun

dari sebuah luasan besar dioda *p-n junction*, dimana dalam hadirnya cahaya matahari dapat dikonversi menjadi energi listrik. Dalam proses merubah energi cahaya matahari menjadi listrik ini disebut efek *photovoltaic* (Charles Soetyono Iskandar dan Nurlaela Latief, 2018).

2.5.1 Prinsip Kerja Sel Surya

Penjelasan prinsip kerjanya dari sel surya ialah jenis semikonduktor P dan N yang disambung berhimpitan, maka menimbulkan perpindahan elektron dari semikonduktor jenis N ke semikonduktor jenis P serta perpindahan hole dari semikonduktor jenis P ke semikonduktor jenis N. Perpindahan tersebut hanya sampai pada batas jarak tertentu dari sambungan. Elektron dari semikonduktor N bergabung dengan hole semikonduktor P yang menyebabkan hole semikonduktor P jumlahnya akan berkurang. Wilayah ini pada akhirnya akan memiliki muatan positif. Pada saat bersamaan, hole semikonduktor P akan bergabung menjadi satu bersama elektron yang ada di semikonduktor N sehingga menyebabkan jumlah elektron pada wilayah ini berkurang. Wilayah ini akhirnya memiliki muatan negatif. Daerah positif dan negatif ini disebut dengan daerah deplesi. Di daerah tersebut ada perbedaan muatan yang akan menimbulkan medan listrik internal yang akan menarik hole ke semikonduktor P serta elektron ke semikonduktor N.

Terbentuknya medan listrik ini dapat menimbulkan semikonduktor P-N pada posisi imbang yaitu banyaknya hole yang bergerak dari semikonduktor P ke N terganti dengan banyaknya hole yang menuju kembali ke semikonduktor P. Berlaku juga terhadap elektron yang bergerak dari semikonduktor N ke P diganti melalui mengalirnya elektron kembali ke semikonduktor N. Pada sambungan atau

daerah deplesi tadi itulah terjadinya proses konversi dari sinar cahaya matahari ke energi listrik.

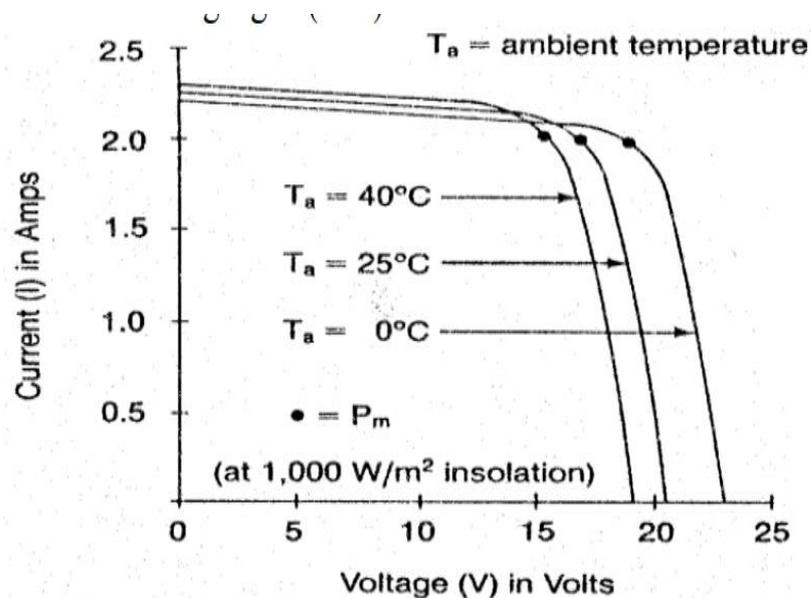
Semikonduktor N di posisi lapisan bagian atas yang menyerap cahaya matahari akan dibuat lebih tipis daripada lapisan semikonduktor P agar cahaya dapat terserap dengan baik hingga daerah deplesi serta semikonduktor P. Saat konektor semikonduktor terkena cahaya matahari, menyebabkan elektron mendapatkan energi yang dapat melepaskan dirinya dari semikonduktor N, daerah deplesi, maupun semikonduktor P. Pada saat elektron ini meninggalkan hole pada daerah yang ditinggalkan disebut dengan istilah fotogenerasi. Cahaya matahari melalui spektrum yang berbeda-beda membentuk proses fotogenerasi di daerah deplesi. Spektrum berwarna merah membentuk cahaya matahari yang memiliki gelombang lebih panjang sehingga mampu menembus wilayah pada semikonduktor P sehingga fotogenerasi terjadi disana. Spektrum berwarna biru yang panjang gelombangnya jauh lebih pendek mengakibatkan terjadinya fotogenerasi pada wilayah semikonduktor N. Kemudian, karena didaerah deplesi ditemukan medan listrik, maka elektron dari proses fotogenerasi tertarik kearah semikonduktor N begitu pula dengan hole yang ikut tertarik kearah semikonduktor P. Jika pada rangkaian kabel terhubung kedua semikonduktor, maka elektron dapat melewati kabel (Meita Rumbayan, 2020:11-16).

2.5.2 Faktor Pengoperasian Sel Surya

Pengoperasian dari sel surya ini agar mendapat nilai maksimal memperhatikan faktor-faktor berikut ini :

1. Temperatur Udara

Sel surya akan bekerja secara maksimal ketika temperature pada sel memiliki kondisi normal yaitu ketika suhu 25 derajat Celsius. Temperatur yang bertambah akan menyebabkan voltase sel surya dapat menurun. Setiap temperatur sel surya yang mengalami peningkatan sebesar 1 derajat Celsius (dari 25 derajat Celsius) berkurang sekitar 0,4% dari total tenaga yang dihasilkan atau dapat dikatakan menurun dua kali lipat dari peningkatan temperatur sel setiap 10 derajat Celsius.



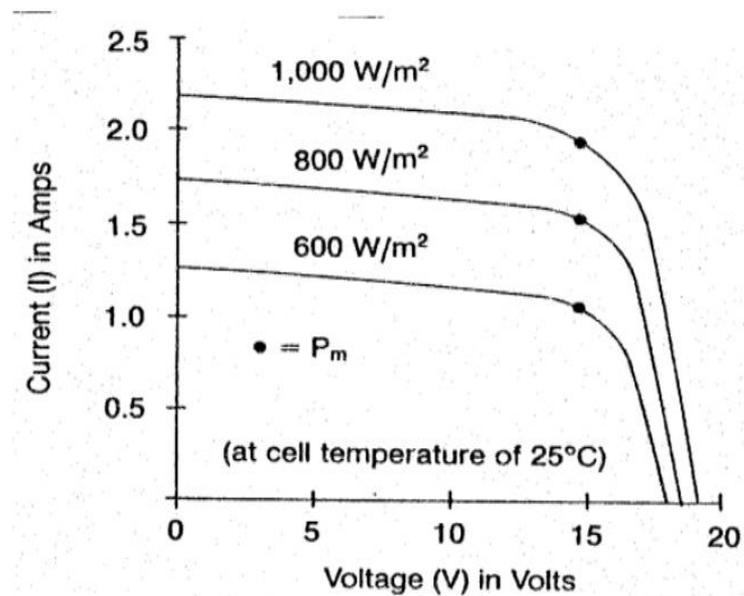
Gambar 2.1 Pengaruh Temperatur Udara Pada Tegangan
(SyahrulBahari, 2017)

Perubahan temperatur pada panel surya ditunjukkan pada kurva diatas bahwa sel surya akan bekerja maksimal pada saat temperatur pada sel surya dalam kondisi normal yaitu 25 derajat celcius. Apabila temperatur diatas nilai normal

temperatur di sel surya, sehingga dapat menyebabkan tegangan menjadi lemah (V_{oc}).

2. Radiasi Matahari (Insolation)

Spektrum solar ke bumi menentukan intensitas radiasi sinar matahari di permukaan bumi. Radiasi sinar matahari memiliki pengaruh besar pada arus listrik panel surya (*current I*) dan sedikit pengaruh pada tegangan panel surya (*Volt V*).



Gambar 2.2 Pengaruh Radiasi Matahari Pada Arus
(SyahrulBahari, 2017)

Berdasarkan kurva yang ditunjukkan diatas, perubahan radiasi matahari
Jika energi cahaya matahari yang diserap oleh sel surya jumlahnya menurun maka mengakibatkan tegangan serta arus listrik yang diperoleh juga ikut menurun.

3. Kecepatan Angin

Angin memiliki kecepatan yang dapat membantu menurunkan temperatur kaca-kaca pada sel surya.

4. Keadaan Atmosfer Bumi

Atmosfer bumi memiliki beberapa kondisi seperti, berawan, mendung, jenis partikel debu pada udara, kabut, uap air udara, asap dan debu sangat mempengaruhi hasil maksimum arus listrik dari deretan sel surya.

5. Sudut Panel

Orientasi rangkaian panel surya ke arah matahari dapat bekerja dengan optimal menjadi hal yang penting agar energi yang dihasilkan dari panel-panel sel surya dapat maksimal. Selain arah orientasi, terdapat sudut dari modul surya yang dapat berpengaruh terhadap hasil *output* daya listrik maksimum. Sebagai panduan, apabila letak lokasi di posisi belahan utara latitude, maka disarankan agar sel surya sebaiknya diorientasikan ke belahan selatan. Orientasi ke timur atau barat tidak akan memperoleh energi matahari yang maksimum.

6. Posisi Sel Surya terhadap Matahari

Sinar matahari dapat diposisikan agar jatuh di sebuah permukaan panel surya secara tegak lurus sehingga hasil yang didapatkan berupa energi yang maksimal yaitu kurang lebih 1000 W/m^2 atau 1 kW/m^2 .

2.6 Jenis Sel Surya

Pada umumnya di era modern ini, manusia memanfaatkan tenaga matahari sebagai sistem pembangkit listrik melalui teknologi panel surya. Saat ini ada berbagai jenis panel surya yang bisa digunakan untuk kebutuhan rumah tangga. Setiap jenis memiliki kelebihan dan kekurangan. Pengguna dapat memilih jenis sel surya sesuai dengan kebutuhan. Adapun sel surya memiliki beberapa jenis seperti dijelaskan berikut ini :

2.6.1 Sel Surya Monocrystalline

Sel Surya ini adalah panel yang paling efisien dalam menghasilkan listrik perluasannya yang paling besar. Pada wilayah yang memiliki iklim ekstrim dengan kondisi alam yang sangat panas sangat cocok menggunakan sel surya jenis ini karena dirancang untuk penggunaan dengan konsumsi listrik yang besar. Sel Surya jenis ini memiliki besar efisiensi pada *range* 11% - 15%. Sel surya jenis ini tidak cocok jika diletakkan di wilayah yang memiliki cahaya matahari yang kurang menjadi kelemahan dari sel surya jenis ini karena tingkat efisiensi yang didapat akan berkurang secara drastis pada saat cuaca berawan. (Bambang Hari Purwoto, dkk. Vol. 18 No.1).



Gambar 2.3 Sel Surya *Monocrystalline*
(Kenika.com)

2.6.2 Sel Surya Polycrystalline

Solar panel *polycrystalline* proses pembuatannya lebih mudah daripada *monocrystalline*, sehingga dijual lebih murah di pasaran. Solar panel jenis *polycrystalline* dapat menyerap energi dengan baik disaat kondisi mendung / berawan. Kekurangan solar panel jenis *polycrystalline* adalah efisiensi yang dimiliki rendah, sekitar 13% - 16%. (Afriana Viro Fadilla, 2020).

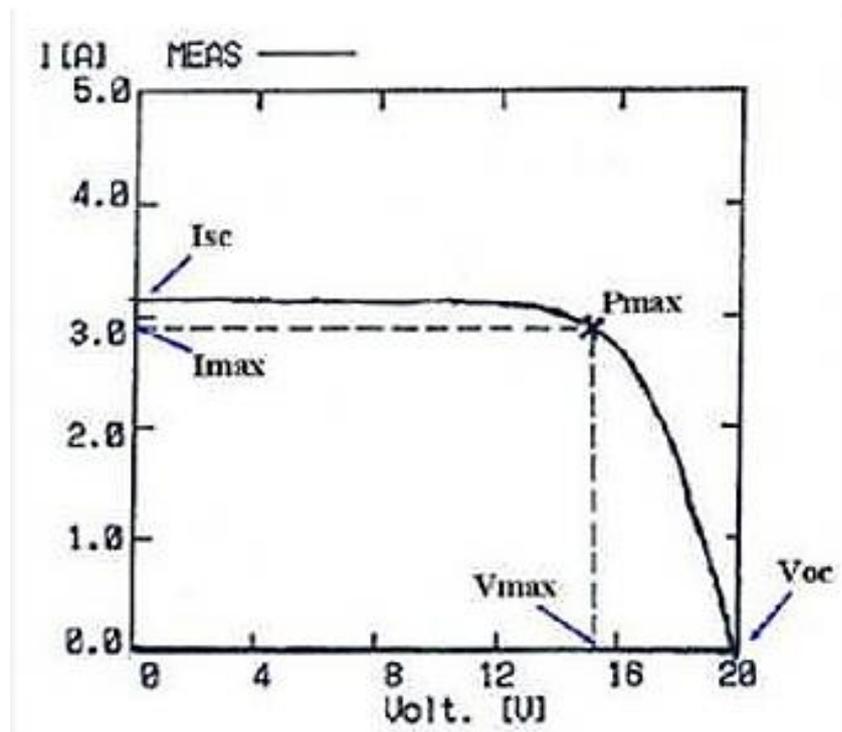


Gambar 2.4 Sel Surya Polycrystalline
(Kenika.com)

2.7 Perhitungan Sel Surya

Berikut adalah parameter untuk mengetahui besar *output* dari sel surya agar hasil efisiensi yang ditentukan pada panel surya menggunakan perhitungan seperti berikut ini : (Rifaldo Pido, dkk, 2019 : 26-27):

1. Kondisi arus hubung singkat atau *short circuit current* (I_{sc}) berupa arus keluaran maksimum yang didapat dari sel surya ketika kondisi tidak memiliki resistansi (R), $V=0$.
2. Kondisi tegangan hubung terbuka atau *open circuit voltage* (V_{oc}) berupa kapasitas tegangan maksimum yang didapat ketika kondisi tidak memiliki arus (I).
3. Daya maksimum (P_{max}) pada Gambar 2.5, terletak di titik A (V_{max} , I_{max}). Yang diperlihatkan pada gambar dibawah ini yang mana daya maksimum didapatkan dari perkalian antara Arus (I_{mp}) dikalikan dengan Tegangan (V_{mp}).



Gambar 2.5 Grafik Arus Kuat dan Tegangan Panel Surya
(Frederik HaryantoSumbung, 2016)

$$P_{max} = V_{mp} \times I_{mp} \quad (2.2)$$

Keterangan : P_{max} = Daya maksimum keluaran (W)

V_{mp} = Tegangan maksimum (V)

I_{mp} = Arus maksimum (A)

4. Daya masukan (P_{in}) adalah daya yang didapat melalui hasil perkalian dari besar intensitas radiasi matahari yang dapat diserap dengan luas area panel surya, sehingga dapat dituliskan menggunakan persamaan 2.4.

$$P_{in} = I_r \times A \quad (2.4)$$

Keterangan : P_{in} = Daya input akibat radiasi matahari (W)

I_r = Intensitas radiasi matahari (W/m²)

A = Luas area permukaan sel surya (m²)

5. Daya keluaran (P_{out}) dari sel surya didapatkan melalui hasil perkalian dari tegangan rangkaian terbuka (V_{oc}) dengan arus hubung singkat (I_{sc}) dan faktor pengisi (FF) yang dihasilkan oleh sel surya dapat dihitung dengan persamaan 2.5.

$$P_{out} = V_{oc} \times I_{sc} \times FF \quad (2.5)$$

Keterangan : P_{out} = Daya output sel surya (W)

V_{oc} = Tegangan rangkaian terbuka (V)

I_{sc} = Arus hubung singkat (A)

FF = Faktor Pengisi

6. Efisiensi sel surya merupakan besaran kemampuan panel surya dengan keluaran daya listrik panel surya dibandingkan dengan luas permukaannya. Efisiensi dari *Solar Cell* dapat dihitung menggunakan persamaan 2.6 (Meita Rumbayan, 2020: 19-20).

$$\eta = (P_{out}/P_{in}) \times 100\% \quad (2.6)$$

Keterangan : η = Efisiensi panel surya (%)

P_{in} = Daya intensitas matahari (W)

P_{out} = Daya keluaran (W)

Sel surya dapat digunakan pada banyak bidang dan aplikasi, sangat cocok digunakan pada lingkungan yang tidak tersedia tenaga listrik seperti pada wilayah terpencil, kalkulator genggam, satelit penerbit, dll (Charles Soetyono Iskandar dan Nurlaela Latief, 2018:57). Panel surya yang telah dirangkai dengan inverter ke *grid* listrik dalam sebuah *net-metering* dapat dipasang di atap gedung ataupun rumah dimana bagian atap selalu terkena sinar matahari.

Dalam perancangan ini digunakan sel surya 100 WP yang telah diedarkan di pasaran serta memiliki tersertifikasi sehingga dapat memudahkan proses pemilihan komponen dan *warranty*. Kebutuhan dari perancangan rangkaian panel surya tersebut dapat diketahui sebagai berikut :

Specifications:

Model	NPS100W	
Electrical Characteristics		
	STC	NOCT
Maximum Power (Pmax)	100Wp	73Wp
Maximum Power Voltage (Vmpp)	18.0V	16.8V
Maximum Power Current (Impp)	5.56A	4.36A
Open Circuit Voltage (Voc)	22.5V	21.2V
Short Circuit Current (Isc)	6.00A	4.84A
Power Tolerance (Positive)	5%	
Module Efficiency STC	14.35%	
Operating Temperature Range	-40°C to +85°C	
Maximum System Voltage	1000V	
Series Fuse Rating	15A	
Temperature Coefficient of Isc	0.055 %/°C	
Nominal Operating Cell Temperature (NOCT)	45±2°C	

Gambar 2.6 Spesifikasi Panel Surya

Mechanical Characteristics	
Cell Type	Polycrystalline 156x156 mm
Cell Number	36 (4x9)
Dimensions (mm)	670x930x30
Weight (kg)	13 kg
Front Glass	3.2 mm, High Transmission, Low Iron, Tempered Glass
Frame Type	Anodized Aluminium Alloy
Junction Box Protection Class	IP 67 Rated
Connector Type	MC4
Output Cables	Optional

Gambar 2.7 Spesifikasi Panel Surya Lanjutan

2.8 Analysis of Variance (ANOVA) *Two ways*

Salah satu dari alat uji statistik yaitu *Two-way* ANOVA yang berguna untuk jenis pengujian signifikansi. Data dari populasi dengan variabel bebas lebih dari satu dapat dianalisa melalui metode dari *two way* ANOVA. Beberapa formula perhitungan yang terdapat pada ANOVA tersusun atas *degrees of freedoms (df)*, *sum of square (SS)*, *mean square (MS)*, dan *f value*. (Douglas C. Montgomery. 2009).

Hipotesis komparatif rata-rata dari beberapa sampel pada populasi data dengan beberapa perlakuan dapat memanfaatkan penggunaan ANOVA dua arah. Dengan contoh pada penelitian yang memiliki jumlah blok $b = 3$ serta banyak perlakuan $k = 5$, maka, akan dibuatkan tabel dengan jumlah 6 kolom (perlakuan) dan 3 baris (blok). Gambaran data yang merepresentasikan bentuk penelitian tersebut dapat dituliskan dalam bentuk matriks seperti pada keterangan berikut.

		Factor B			
		1	2	...	b
Factor A	1	$y_{111}, y_{112}, \dots, y_{11n}$	$y_{121}, y_{122}, \dots, y_{12n}$		$y_{1b1}, y_{1b2}, \dots, y_{1bn}$
	2	$y_{211}, y_{212}, \dots, y_{21n}$	$y_{221}, y_{222}, \dots, y_{22n}$		$y_{2b1}, y_{2b2}, \dots, y_{2bn}$
	⋮				
	a	$y_{a11}, y_{a12}, \dots, y_{a1n}$	$y_{a21}, y_{a22}, \dots, y_{a2n}$		$y_{ab1}, y_{ab2}, \dots, y_{abn}$

Gambar 2.8 Rangkaian Pengujian Dengan Dua Faktor
(Douglas C. Montgomery. 2009)

Hal dasar sebagai persaratan minimum adalah pada replikasi dari setiap faktor-faktornya. Adapun minimum replikasi adalah ($n > 2$).

Pada metode ANOVA dua arah ini digunakan hipotesis berupa penentuan kondisi rata-rata dari dua faktor yang memengaruhi (variabel bebas) dengan kondisi sebagai berikut:

Hipotesis untuk faktor pertama:

$H_0: \alpha_1 = \alpha_2 = \dots = \alpha_n$ (Tidak ditemukan rata-rata (*mean*) yang berbeda signifikan dari faktor pertama)

$H_1: \alpha_i \neq \alpha_j$ (Ditemukan rata-rata (*mean*) yang berbeda signifikan dari faktor pertama)

Hipotesis untuk faktor kedua:

$H_0: \beta_1 = \beta_2 = \dots = \beta_n$ (Tidak ditemukan rata-rata (*mean*) yang berbeda signifikan dalam faktor kedua)

H1: $\beta_i \neq \beta_j$ (Ditemukan rata-rata (*mean*) yang berbeda signifikan dalam faktor kedua)

Kesimpulan dari hipotesis dapat ditentukan dengan dilakukan komparasi nilai F hasil hitung dibandingkan dengan F hasil tabel atau secara teori sesuai dengan dua kondisi berikut :

$f_{\text{hitung}} < F_{\text{tabel}} \rightarrow H_0$ diterima

Kesimpulan: Tidak ditemukan rata-rata antar perlakuan yang memiliki hasil yang berbeda signifikan.

$f_{\text{hitung}} \geq F_{\text{tabel}} \rightarrow H_0$ ditolak

Kesimpulan: Ditemukan rata-rata antar perlakuan memiliki hasil yang berbeda signifikan.

Dengan nilai F tabel sebagai berikut :

$$F_{\alpha, a-1, N-a} \quad (2.7)$$

Perhitungan *Degrees of Freedom* (DOF) pada masing-masing faktor dapat dituliskan pada tabel dibawah ini :

Tabel 2.4 Perhitungan DOFF

Effect	Degrees of Freedom
<i>A</i>	$a - 1$
<i>B</i>	$b - 1$
<i>AB</i> interaction	$(a - 1)(b - 1)$
Error	$ab(n - 1)$
Total	$abn - 1$

Dengan mendapatkan

Tabel 2.5 Analisa Variasi

■ TABLE 5.3

The Analysis of Variance Table for the Two-Factor Factorial, Fixed Effects Model

Source of Variation	Sum of Squares	Degrees of Freedom	Mean Square	F_0
A treatments	SS_A	$a - 1$	$MS_A = \frac{SS_A}{a - 1}$	$F_0 = \frac{MS_A}{MS_E}$
B treatments	SS_B	$b - 1$	$MS_B = \frac{SS_B}{b - 1}$	$F_0 = \frac{MS_B}{MS_E}$
Interaction	SS_{AB}	$(a - 1)(b - 1)$	$MS_{AB} = \frac{SS_{AB}}{(a - 1)(b - 1)}$	$F_0 = \frac{MS_{AB}}{MS_E}$
Error	SS_E	$ab(n - 1)$	$MS_E = \frac{SS_E}{ab(n - 1)}$	
Total	SS_T	$abn - 1$		

Dimana nilai sum of square sebagai berikut :

$$SS_A = \frac{1}{bn} \sum_{i=1}^a y_i^2 - \frac{y^2}{abn}$$

$$SS_B = \frac{1}{an} \sum_{j=1}^b y_j^2 - \frac{y^2}{abn} \quad (2.8)$$

$$SS_{Subtotals} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^a \sum_{j=1}^b y_{ij}^2 - \frac{y^2}{abn} \quad (2.9)$$

$$SS_{AB} = SS_{Subtotals} - SS_A - SS_B \quad (2.10)$$

$$SS_T = \sum_{i=1}^a \sum_{j=1}^b \sum_{k=1}^n y_{ijk}^2 - \frac{y^2}{abn} \quad (2.11)$$

(Douglas C. Montgomery. 2009)