

## ***Measurement of I-V and P-V Characteristics of Solar Panels Under Partial Shading Conditions***

### **Pengukuran Karakteristik I -V dan P-V Panel Surya pada Kondisi Bayangan Parsial**

Hanif Hazman<sup>1</sup>, Asnil<sup>1,2\*</sup>

#### **Abstract**

*Some factors that affect the solar panels in producing electrical energy are temperature and temperature, another important point is the shadows that block the sunlight to reach the surface of the solar panels. This study aims to analyze the characteristics of the solar panel configuration with various levels of shadows that block the sunlight. The method used is a simulation of the current and voltage characteristics produced by several solar panel configurations. The configurations used are Series Parallel (SP), Total Cross Tied (TCT), Triple Tied (TT), Bridge Link (BL) and Honey Comb (HC). The results showed that the electrical energy generated by the SP, TCT, TT, BL and HC configurations respectively were 501.9 W, 517.5 W, 508.1W, 502.5W, 507.2W. Thus it is known that TCT has the maximum results.*

#### **Keywords**

*Series Parallel, Total Cross Tied, Triple Tied, Bridge Link, Honey Comb*

#### **Abstrak**

Beberapa faktor yang mempengaruhi efisiensi dari panel surya untuk menghasilkan energi listrik adalah suhu dan temperature, factor lain yaitu bayangan yang menghalangi sinar matahari. Penelitian ini bertujuan untuk melihat karakteristik dari konfigurasi pemasangan panel surya dengan berbagai tingkat bayangan yang terjadi. Metode yang digunakan adalah simulasi karakteristik arus dan tegangan yang dihasilkan oleh beberapa konfigurasi panel surya. Konfigurasi yang digunakan yaitu Series Parallel(SP), Total Cross Tied (TCT), Triple Tied (TT), Bridge Link (BL) dan Honey Comb (HC). Hasil penelitian menunjukkan energi listrik yang dihasilkan pada konfigurasi SP, TCT, TT, BL dan HC secara berurut adalah 501.9 W, 517.5 W, 508.1W, 502.5W, 507.2W. Dengan demikian TCT memiliki hasil yang paling baik.

#### **Kata Kunci**

*Series Parallel, Total Cross Tied, Triple Tied, Bridge Link, Honey Comb*

<sup>1</sup> Departemen Teknik Elektro, Fakultas Teknik Universitas Negeri Padang  
Kampus I UNP Air Tawar, jln. Prof. DR. Hamka, Padang

<sup>2</sup> Center for Energy and Power Electronics Research, Universitas Negeri Padang  
Jalan Prof. Dr. Hamka, Air Taawar, Padang, 25131, Indonesia

\* asnil81@ft.unp.ac.id

Submitted : April 26, 2022. Accepted : May 29, 2022. Published : May 31, 2022.

## PENDAHULUAN

Berkurangnya energi fosil terutama pada minyak bumi dan bahan batu bara mendorong pemerintah Indonesia untuk meningkatkan energi terbarukan yang dapat digunakan secara terus menerus untuk menjaga ketahanan energi, sesuai dengan PP No.79 Tahun 2014 tentang kebijakan Energi Nasional. Energi terbarukan tersebut memiliki target pada tahun 2025 paling sedikit 23% dan 30% pada tahun 2050 [1]. Karena setiap tahun pemakaian energi listrik di Indonesia mengalami peningkatan pemakaian rata-rata 6.5 % pertahunnya [2]. Dalam kondisi ini pemerintah Indonesia perlu mencari alternatif untuk mencukupi kapasitas kebutuhan energi yang dibutuhkan. Sedangkan Indonesia sangat kaya dengan energi terbarukan dengan potensi lebih dari 400.000 Mega Watt (MW), yang dimana 50% atau sekitar 200.000 MW berasal dari energi surya[1][2].

Pembangkit Listrik Tenaga Surya merupakan pembangkit yang memanfaatkan energi matahari. Pembangkit Listrik Tenaga Surya ini menggunakan *photovoltaic* (PV) sebagai mengganti atau merubah energi matahari secara langsung menjadi energi listrik [3][4]. Pemilihan energi matahari sebagai energi terbarukan, karena Indonesia merupakan daerah tropis yang mampu menerima cahaya matahari mencapai  $3 \times 10^{24}$  j pertahunnya dengan insolasi harian dengan rata-rata 4.5–4.8 KWh/m<sup>2</sup>. Akan tetapi penggunaan *photovoltaic* mempunyai beberapa kendala yang mengakibatkan kurang maksimalnya penerimaan daya maksimum. Kendala ini seperti adanya bayangan awan yang menutupi panel surya, bayangan pohon, kotoran burung dan lain-lain. Dan juga negara Indonesia berada di garis khatulistiwa akan mengalami perpindahan matahari di setiap bulannya (gerak semu tahunan matahari) yang bergerak dari selatan ke utara dan kembali lagi ke selatan. Fenomena ini mengakibatkan matahari tidak terbit dan terbenam di satu garis[2].

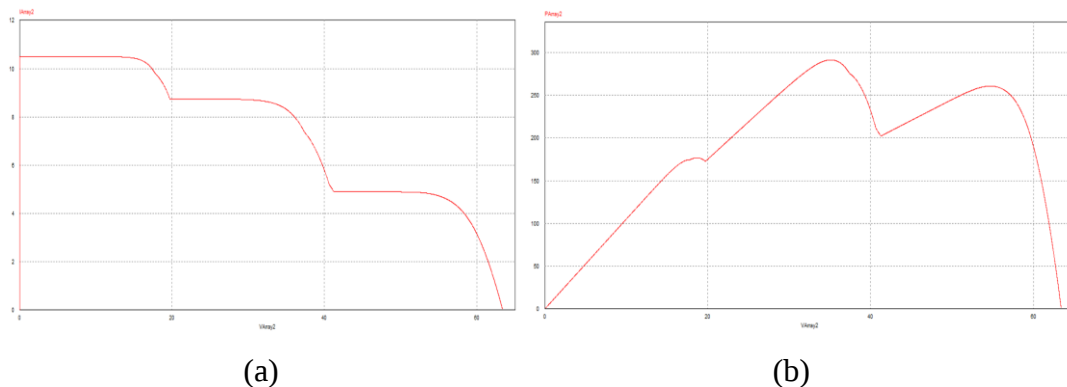
Untuk mendapatkan daya maksimal dari modul PV pada saat kondisi bayangan parsial, dapat menggunakan beberapa metode seperti dengan menggunakan konverter, teknik MPPT, konfigurasi array PV, dan dengan cara konfigurasi ulang tingkat lanjutan. Daya yang dihasilkan oleh modul PV bergantung pada tingkat penyinaran matahari kondisi ini disebut *Partial Shading Conditions* atau bayang parsial [5][6].

Untuk mencegah terjadinya bayangan parsial penulis menggunakan metode konfigurasi pada rangkaian modul PV. Tujuannya yaitu untuk memastikan bahwa sistem selalu mengekstrak daya maksimum dari modul array PV, karena kondisi alam atau pun lingkungan yang berbeda maka titik daya maksimum atau *Maximum Power Point* (MPP) menimbulkan karakteristik P-V bervariasi secara *non-linier* [7][5]. *Photovoltaic* yang terhalang bayangan akan berdampak bias terbalik dan bertindak sebagai beban yang akan menyebabkan hilangnya daya. Dari karakteristik keluaran beban *non-linier* dari susunan modul PV akan terjadi berbagai kesulitan dalam pendeteksian. Maka untuk mendeteksi gangguan pada PV dibawah kondisi bayangan parsial maka perlu menentukan atau menggunakan nilai terukur dari tegangan, arus, dan radiasi cahaya[8][2][9][10].

Dalam penelitian ini, penulis melakukan simulasi terhadap 9 modul PV yang disusun secara 3x3 kemudian setiap modul akan di rangkai secara *Series Parallel* (SP), *Total Cross Tied* (TCT), *Triple Tied* (TT), *Bridge Link* (BL), *Honey Comb* (HC) disetiap rangkaian akan diberi arisan atau mengatur pencahayaan yang berbeda-beda secara *uniform*, *long and wide*, *simetris* dan *corner* di masing-masing modul PV. Dalam konteks ini, penulis akan membandingkan dari keluaran modul PV seperti nilai arus, tegangan, daya, *fill faktor*, rugi daya, serta nilai efisiensi dari masing modul yang mengalami bayangan secara *uniform*, *long and wide*, *simetris* dan *corner*. Dalam pemodelan ini menggunakan *software* PSIM sebagai menampilkan hasil data serta gelombang yang dihasilkan modul PV pada kondisi bayangan parsial.

### Photovoltaic (PV) Dibawah Kondisi Bayangan Parsial

Array photovoltaic tersusun dari beberapa jumlah modul PV yang terhubung secara seri dan paralel. Daya yang di yang dihasilkan di array PV berasal dari kombinasi antara modul PV yang terkena pancaran cahaya yang diterima. Daya pada sel surya maksimum dan efisiensi sel surya menurun dengan peningkatan suhu yang diterima modul PV, peningkatan suhu sebesar 25°C maka mengakibatkan penurunan daya sekitar 10%[11][4]. Sel surya menghasilkan arus dan tegangan, terlihat pada gambar 1 (a) yang menunjukkan karakteristik tegangan dengan arus yang menunjukkan terjadinya bayangan parsial. Pada gambar 1 (a) dan (b) menunjukkan titik maksimum pada terjadinya bayangan parsial daya yang diterima pada modul PV[7].



Gambar 1. (a). kurva I-V modul PV (b). kurva P-V

Modul PV yang dipengaruhi bayangan parsial seperti pohon, awan, gedung tinggi dan lain-lain akan mengakibatkan kehilangan daya maksimal pada modul PV. Untuk mendapatkan daya maksimal dari modul PV pada saat kondisi bayangan parsial, dapat menggunakan beberapa metode seperti dengan menggunakan konverter, teknik MPPT, konfigurasi array PV, dan dengan cara konfigurasi ulang tingkat lanjutan. Konfigurasi modul array merupakan metode yang optimal dalam mengurangi kehilangan daya pada saat kondisi bayangan parsial. Dari berbagai penelitian konfigurasi TCT yang memiliki kinerja paling optimal atau lebih baik. Selain konfigurasi TCT juga terdapat beberapa konfigurasi lainnya seperti SP, TT, BL dan HC. Dari masing-masing konfigurasi dapat dibandingkan beberapa keluaran dari modul PV seperti nilai arus, tegangan, daya, daya hilang, *fill faktor* serta nilai efisiensi dengan melakukan pengaturan cahaya di setiap modul PV. Pengaturan pencahayaan ini dilakukan secara *uniform, long and wide, simetris* dan *corner* di setiap konfigurasi. Berikut ini pembahasan dari berbagai jenis konfigurasi pada modul PV.

### Konfigurasi Modul Photovoltaic Seri – Paralel

Pada konfigurasi seri-paralel modul PV 3x3 dihubung secara seri untuk menghasilkan tegangan output dan untuk menghasilkan keluaran modul disusun secara paralel. Konfigurasi array PV yang disusun SP terdiri dari modul yang terhubung seri dalam sebuah string sehingga sistem PV menghasilkan lebih banyak kerugian ketidakcocokan. Kekurangan dari rangkaian SP yaitu banyaknya ketidakcocokan atau kerugian daya yang diakibatkan dari terlalu banyak rangkaian seri. Dan apabila salah satu modul PV rusak dibagian rangkai seri akan mengakibatkan arus dan tegangan di seri tersebut tidak bekerja.

### Konfigurasi Modul Photovoltaic Bridge Link

Konfigurasi *bridge link* merupakan konfigurasi array yang berfungsi untuk mengurangi kerugian-kerugian di dalam konfigurasi S-P. Konfigurasi BL dihubung dalam bentuk penyearah jembatan yang disetiap jembatan dua modul PV dihubung secara seri dan kemudian dihubung paralel diantara modul PV 1 (-) dan 2 (-), 5 (-) dan 6 (-). Kerugian dari

konfigurasi BL ke konfigurasi SP merupakan konfigurasi yang rumit dan diperlukan lebih banyak perangkat switching.

Keuntungan dari konfigurasi BL yaitu rugi daya lebih kecil dari rangkaian SP, karena mengandung sedikit rangkaian seri. Kelemahan dari rangkaian BL masih ada ketidakcocokan yang diakibatkan dari rangkaian seri.

### Konfigurasi Modul Photovoltaic Honey Comb

Konfigurasi ini hampir mirip dengan BL, modul PV terhubung seperti segi enam dari struktur sarang lebah. Konfigurasi HC terdiri dari modul PV terhubung seri dan paralel akan tetapi rangkaian seri lebih sedikit daripada konfigurasi SP. Oleh karena itu, ketidakcocokan konfigurasi HC lebih tinggi daripada konfigurasi BL dan lebih kecil dari konfigurasi S. Tegangan dan arus keluaran dihitung dengan menambahkan tegangan secara seri dan menambahkan arus secara paralel. Pada konfigurasi ini modul PV 3x3 dirangkai seri kemudian pada modul PV 5 (-) dan 6 (-) diparalelkan[12][13]. Keuntungan dari rangkaian HC rugi daya yang diakibatkan lebih sedikit dibanding rangkaian SP, karena sedikit rangkaian seri. Kelemahan rangkaian HC masih terdapat rangkaian seri yang mengakibatkan rugi daya besar.

### Konfigurasi Modul Photovoltaic Triple Tied

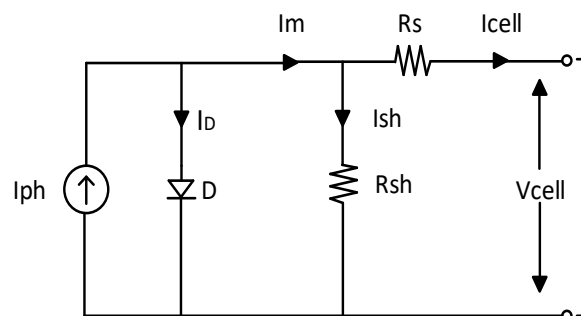
Konfigurasi ini dibentuk dengan memodifikasi konfigurasi *array* BL PV. *Triple Tied* (TT) hampir sama dengan struktur kasus tangga penerbangan. Pada konfigurasi ini panel yg disusun 3x3 yang dimana PV disusun secara seri perkolom kemudian PV 1 (-), 2 (-) dan 3 (-) di paralelkan dan pada PV 5 (-) dan 6 (-) diparalelkan. Berikut rangkaian TT dapat disusun. Keuntungan dari konfigurasi TT rugi daya yang dihasilkan sedikit karena terdapat satu rangkaian seri.

### Konfigurasi Modul Photovoltaic Total Cross Tied

Konfigurasi *Total Cross Tied* (TCT) dibentuk dengan menghubungkan semua titik baris dalam konfigurasi seri paralel untuk membuat koneksi seperti matrik sistematis. Konfigurasi TCT memungkinkan dioda bypass menjadi lebih kecil untuk beroperasi sehingga kerugian ketidak sesuaian berkurang. Jumlah total dioda bypass yang digunakan dalam TCT jauh lebih sedikit dibandingkan dengan SP karena koneksi silang antar modul PV [14]. Oleh karena itu kesederhanaannya mirip dengan SP. Konfigurasi ini menggunakan PV 3x3 yang dimana seluruh modul PV di paralelkan, Keuntungan dari konfigurasi TCT yaitu kerugian daya lebih sedikit dan bayang parsial lebih rendah dari konfigurasi lainnya.

### Pemodelan Matematika pada Modul Photovoltaic

Pemodelan matematika pada modul PV dapat dirumuskan dengan menggunakan rangkaian pada gambar 2.



Gambar 2. Rangkaian modul PV

Nilai arus pada rangkaian ekivalen pada modul PV dapat ditentukan dengan hukum *Kirchhoff's* dengan persamaan (1)[15].

$$I_{cell} = I_m - I_{sh} \quad (1)$$

Yang dimana  $I_{cell}$  arus masuk dari modul PV,  $I_m = I_{ph} - I_D$  dan  $I_{sh}$  merupakan arus yang masuk ke resistor *shunt* ( $R_{sh}$ ) maka dapat dirumuskan seperti persamaan (2).

$$I_{sh} = \frac{V_{cell} + I_{cell} R_s}{R_{sh}} \quad (2)$$

Untuk arus yang nilainya bervariasi dan juga memiliki nilai yang berbanding lurus dengan radiasi matahari dengan suhu tertentu dapat di hitung dengan persamaan (3).

$$I_{ph} = (I_{ph,n} + K_I \Delta T) \frac{G}{G_{ns}} \quad (3)$$

Dimana:

$I_{ph,n}$  = Merupakan nilai arus selama *Standard Test Condition* (STC)

$K_I$  = Koefisien nilai dari suhu

$G$  = Nilai insolasi matahari

$G_n$  = Nilai nominal insolasi matahari

$$I_D = I_0 \left( \exp \left( \frac{V_{cell} + I_{sh} R_s}{V_t a} \right) - 1 \right) \quad (4)$$

Dimana:

$I_D$  = Arus dari cahaya yang masuk pada dioda

$I_0$  = Arus saturasi pada dioda

$R_s$  = Nilai tahanan

$I_{sh}$  = Nilai arus shunt

$$I_0 = \frac{I_{sc,n} + K_I \Delta T}{\exp \left( \frac{V_{oc,n} + K_V \Delta T}{a V_t} \right) - 1} \quad (5)$$

Dimana:

$I_{sc,n}$  = Arus hubungan singkat nominal

$V_{oc,n}$  = Tegangan hubungan terbuka

$K_V$  = Merupakan nilai koefisien dari suhu terhadap tegangan

$K_I$  = Merupakan nilai koefisien suhu terhadap arus

Untuk mencari nilai  $V_t$  maka dapat di cari dengan persamaan (6).

$$V_t = \frac{N_s k T}{q} \quad (6)$$

Dimana:

$N_s$  = Jumlah sell atau modul dalam rangkaian panel

$k$  = Nilai ketentuan konstanta Boltzmann's ( $1.3806503 \times 10^{-23}$  J/K)

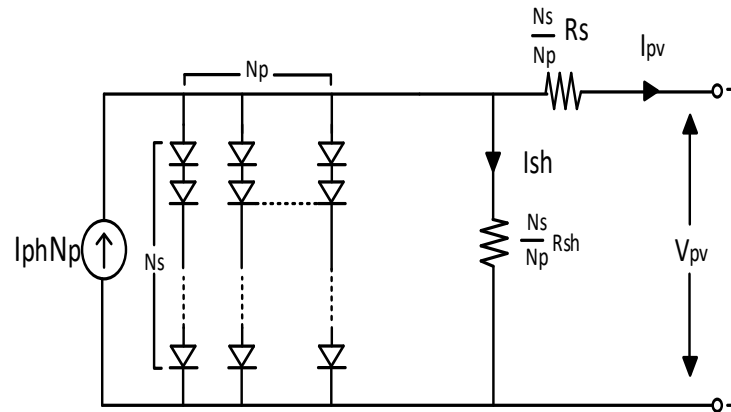
$T$  = Nilai Suhu

$q$  = Nilai muatan elektron ( $1.60217646 \times 10^{-19}$  C)

Maka dari persamaan (6) dapat juga dihitung nilai output dari arus pada modul tersebut dengan menggunakan persamaan (7).

$$I_{cell} = I_{ph} - I_0 \left[ \exp \left( \frac{V_{cell} + R_s I_{cell}}{V_t a} \right) - 1 \right] - \left( \frac{V_{cell} + R_s I_{cell}}{R_{sh}} \right) \quad (7)$$

Modul *photovoltaic* merupakan kombinasi antara sel yang disusun secara seri dan sedangkan *array photovoltaic* modul yang disusunan seri dan paralel seperti gambar 3.



Gambar 3. Rangkaian Photovoltaic Array

Gambar 3 merupakan rangkaian untuk menguji hubungan antara nilai arus dan nilai tegangan yang dihasilkan dari modul PV tersebut. Maka dapat diperoleh persamaan (9) untuk mengidentifikasi nilai arus dan tegangan yang dihasilkan oleh modul array PV yang diperoleh pada rangkaian gambar 8. sebagai berikut:

$$I_m = I_{ph} N_p - I_0 \left[ \exp \left( \frac{q(V_m + R_s I_m)}{N_s k T a} \right) - 1 \right] - \left( \frac{V_m + R_s I_m}{R_{sh}} \right) \quad (8)$$

$$I_{pv} = I_{ph} N_p - I_0 N_p \left[ \exp \left( \frac{q(V_{pv} + R_s (\frac{N_s}{N_p}) I_{pv})}{N_s k T a} \right) - 1 \right] - \left( \frac{V_{pv} + R_s (\frac{N_s}{N_p}) I_{pv}}{R_{sh} (\frac{N_s}{N_p})} \right) \quad (9)$$

Perbandingan antara pencahayaan yang terjadi pada modul PV pada saat bayangan, perbandingan ini dapat ditentukan tentang daya yang hilang atau daya yang diterima tidak maksimal oleh array PV. Kehilangan daya yang tidak sesuai dapat diperoleh persamaan (10)[15]

$$\Delta P_L(\%) = \frac{P_{MPP} + P_{sc}}{P_{MPP}} \times 100 \quad (10)$$

Diketahui:

$P_{MPP}$  = daya maksimum BAYANGAN PARSIAL<sub>s</sub> ( $V_{MMP} \times I_{MMP}$ )

$P_{BAYANGAN PARSIAL}$  = daya maksimum rangkaian ( $V_{OC} \times I_{SC}$ )

Untuk nilai faktor daya (FF) diperoleh dengan persamaan (11)[1] .

$$FF = \frac{V_{MPP} \times I_{MPP}}{V_{OC} \times I_{SC}} \quad (11)$$

Untuk menghitung efisiensi dapat diperoleh dengan persamaan (12)[1].

$$\eta = \frac{V_{MPP} \times I_{MPP}}{I_r \times A} \quad (12)$$

dimana:

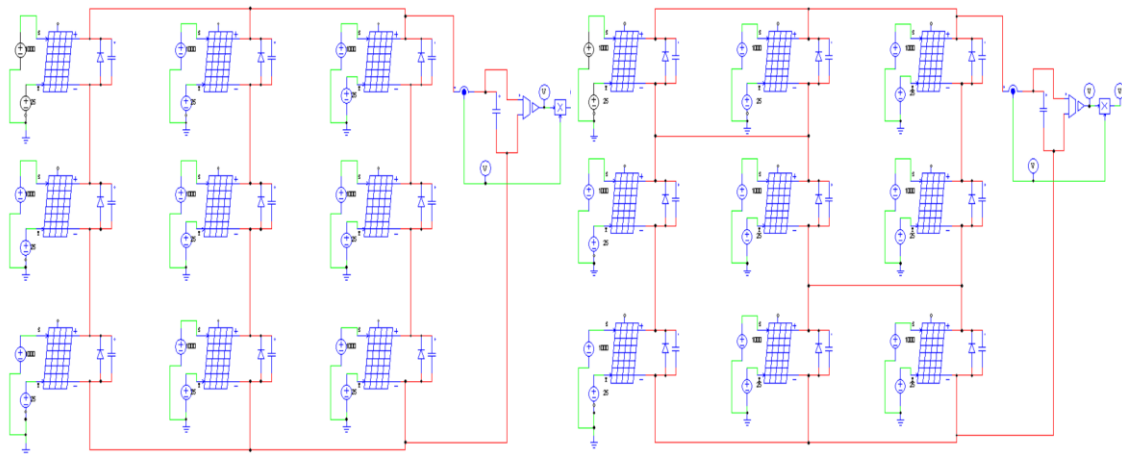
$I_r$  = intensitas radiasi ( $\frac{P_{MPP}}{A}$ )

$A$  = luas penampang panel ( $P \times L$ )

### METODE PENELITIAN

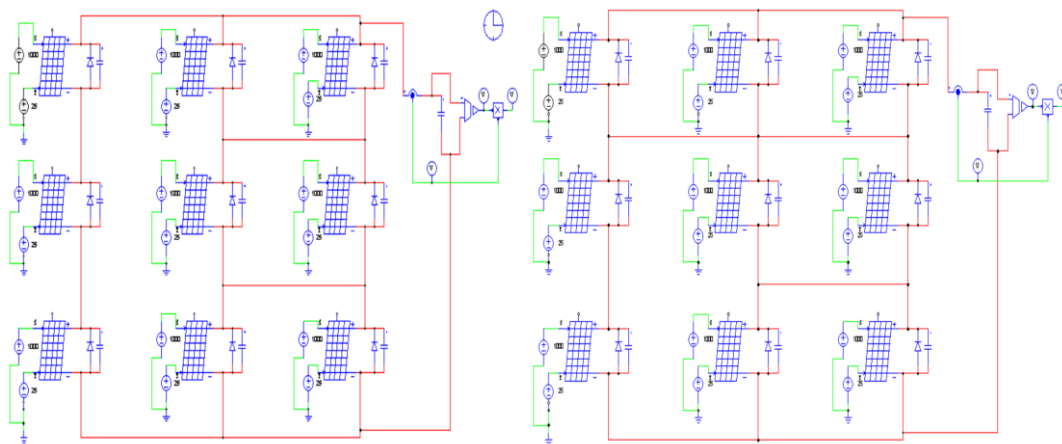
Pada penelitian ini menggunakan PSIM sebagai simulasi dari konfigurasi PS, BL, HC, TT, TCT pada panel surya yang disusun 3 x 3 serta pada modul akan di arsir atau ditutupi dengan

kondisi *uniform, simetris, long and wide*, dan *corner*. Berikut ini rangkaian konfigurasi PS, BL, HC, TT, TCT pada pada PSIM secara berurutan seperti pada gambar 4a, 4b, 4c, 4d dan 4e.



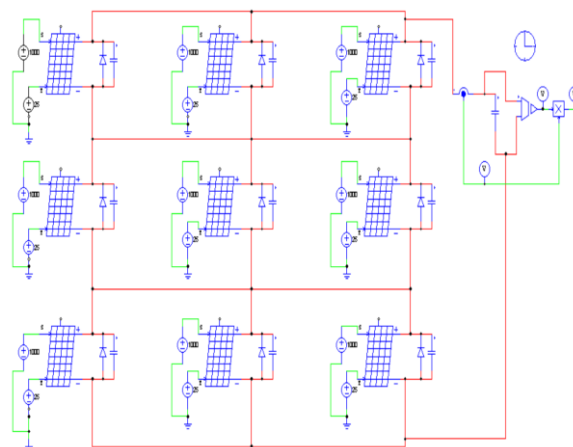
(a)

(b)



(c)

(d)



(e)

Gambar 4. Rangkaian konfigurasi PV pada simulasi PSIM (a). *Seri – Paralel* (b). *PV Bridge Link* (c). konfigurasi *PV Honey Comb* (d). konfigurasi *PV Triple Tied* (e). konfigurasi *PV Total Cross Tied*

Dari setiap modul akan di atur cahaya yang akan diterima pencahayaannya sesuai topologi seperti *uniform, simetris, long and wide, dan corner*, dan juga setiap modul diberi suhu sebesar 25°C.

### Pendiskripsian Bayangan Parsial pada Modul PV

Pada modul PV sangat bergantung pada kondisi bayangan yang mengenai permukaan modul. Jika tidak ada bayangan yang mengenai modul maka energi yang dihasilkan akan maksimal. Berikut susunan bayangan pada modul PV yang disusun 3x3 seperti gambar 5

|                          |                          |                          |                          |                          |                          |                          |                          |                          |                          |                          |                         |
|--------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|-------------------------|
| 1000<br>W/m <sup>2</sup> | 1000<br>W/m <sup>2</sup> | 1000<br>W/m <sup>2</sup> | 900<br>W/m <sup>2</sup>  | 1000<br>W/m <sup>2</sup> | 200<br>W/m <sup>2</sup>  | 1000<br>W/m <sup>2</sup> | 1000<br>W/m <sup>2</sup> | 1000<br>W/m <sup>2</sup> | 1000<br>W/m <sup>2</sup> | 1000<br>W/m <sup>2</sup> | 200<br>W/m <sup>2</sup> |
| 1000<br>W/m <sup>2</sup> | 1000<br>W/m <sup>2</sup> | 1000<br>W/m <sup>2</sup> | 1000<br>W/m <sup>2</sup> | 800<br>W/m <sup>2</sup>  | 1000<br>W/m <sup>2</sup> | 1000<br>W/m <sup>2</sup> | 800<br>W/m <sup>2</sup>  | 400<br>W/m <sup>2</sup>  | 1000<br>W/m <sup>2</sup> | 1000<br>W/m <sup>2</sup> | 400<br>W/m <sup>2</sup> |
| 1000<br>W/m <sup>2</sup> | 1000<br>W/m <sup>2</sup> | 1000<br>W/m <sup>2</sup> | 400<br>W/m <sup>2</sup>  | 1000<br>W/m <sup>2</sup> | 600<br>W/m <sup>2</sup>  | 900<br>W/m <sup>2</sup>  | 600<br>W/m <sup>2</sup>  | 200<br>W/m <sup>2</sup>  | 900<br>W/m <sup>2</sup>  | 800<br>W/m <sup>2</sup>  | 600<br>W/m <sup>2</sup> |
| (a)                      | (b)                      | (c)                      | (d)                      |                          |                          |                          |                          |                          |                          |                          |                         |

Gambar 5. Bayangan parsial pada modul PV (a). *uniform*, (b). *simetris*, (c). *long and wide*, (d). *corner*

### Spesifikasi Panel Surya 60WP Monocrystalline tipe MS60M-36

Pada percobaan simulasi ini saya menggunakan spesifikasi modul *photovoltaic* 60WP Monocrystalline tipe MS60M-36 dengan spesifik seperti table 1.

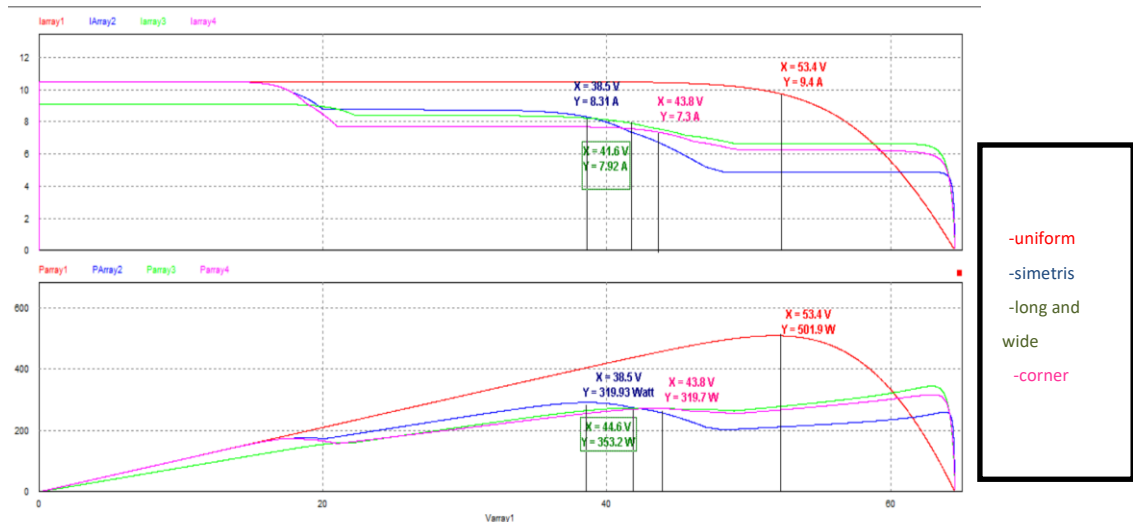
Tabel 1. Spesifikasi Panel Surya 60WP Monocrystalline tipe MS60M-36

| No | Parameter                          | Variabel | Values                  |
|----|------------------------------------|----------|-------------------------|
| 1. | <i>Maximum Power</i>               | Pmax     | 60W                     |
| 2. | <i>Maximum Power Voltage</i>       | Vmp      | 18.2V                   |
| 3. | <i>Maximum Power Current</i>       | Imp      | 3.34A                   |
| 4. | <i>Open Circuit Voltage</i>        | Voc      | 21.51V                  |
| 5. | <i>Short Circuit Current</i>       | Isc      | 3.59A                   |
| 6. | <i>Nominal Operating Cell Temp</i> | NOCT     | 47 ± 2 °C               |
| 7. | <i>Maximum System Voltage</i>      |          | 1000VDC                 |
| 8. | <i>Maximum Series Fuse</i>         |          | 10A                     |
| 9. | <i>Dimention</i>                   | mm       | 540mm * 680mm *<br>30mm |

## HASIL DAN PEMBAHASAN

### Hasil Simulasi Konfigurasi Seri Paralel

Pada rangkaian ini modul dihubungkan secara seri untuk mendapatkan nilai tegangan yang berupa nilai *string*, maka untuk mendapatkan nilai string saat ini maka modul di susun secara paralel seperti pada gambar 6. Dari nilai data yang di peroleh dari simulasi dari modul PV yang disusun secara seri paralel maka diperoleh kerugian yang ketidaksesuaian pada modul PV. Maka diperoleh daya maksimum yang mengalami bayangan parsial seperti gambar 6.

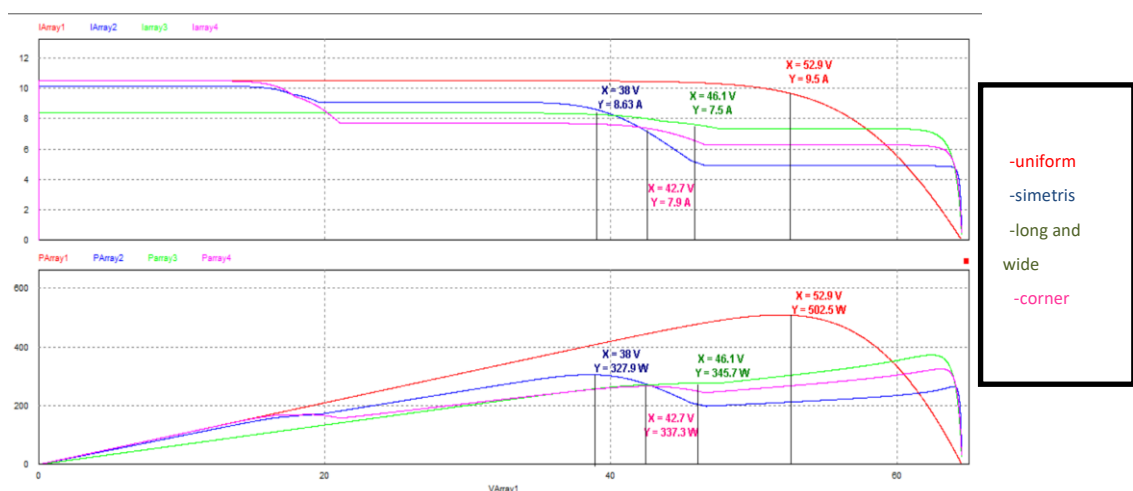


Gambar 6. Hasil simulasi PSIM pada modul PV Seri Paralel yang mengalami bayangan parsial

Pengambilan titik puncak daya berdasarkan peningkatan daya setelah terjadinya bayangan parsial. Pada gambar 6. modul PV pada kondisi *uniform* memperoleh arus sebesar 9.4A dan tegangan sebesar 53.4 V. Maka diperoleh titik puncak daya yang diperoleh pada kondisi *uniform* sebesar 501.9 W. Ketika kondisi *simetris* diperoleh nilai arus dalam simulasi sebesar 8.3A dan nilai tegangan sebesar 38.5. Untuk titik nilai daya yang diperoleh dari arus dan tegangan yang didapatkan sebesar 319.9 W. Untuk kondisi *long and wide* arus yang ditetapkan sebesar 7.9A maka tegangan yang diperoleh sebesar 44.6 V. Untuk daya maka dapat diperoleh antara hasil kali dari arus dan nilai tegangan, maka diperoleh sebesar 353.3 W. Kondisi *corner* arus yang diperoleh sebesar 7.3 A dan nilai tegangan 43.8 V, maka daya diperoleh sebesar 319.7 W.

### Hasil Simulasi Konfigurasi Bridge Link

Konfigurasi B-L dihubung dalam bentuk penyearah jembatan yang disetiap jembatan dua modul PV dihubung secara seri dan kemudian dihubung paralel. Rangkaian konfigurasi ini mengurangi kerugian pada rangkaian seri paralel. Maka dapat diperoleh daya yang dihasilkan dari rangkaian BL seperti gambar 7.



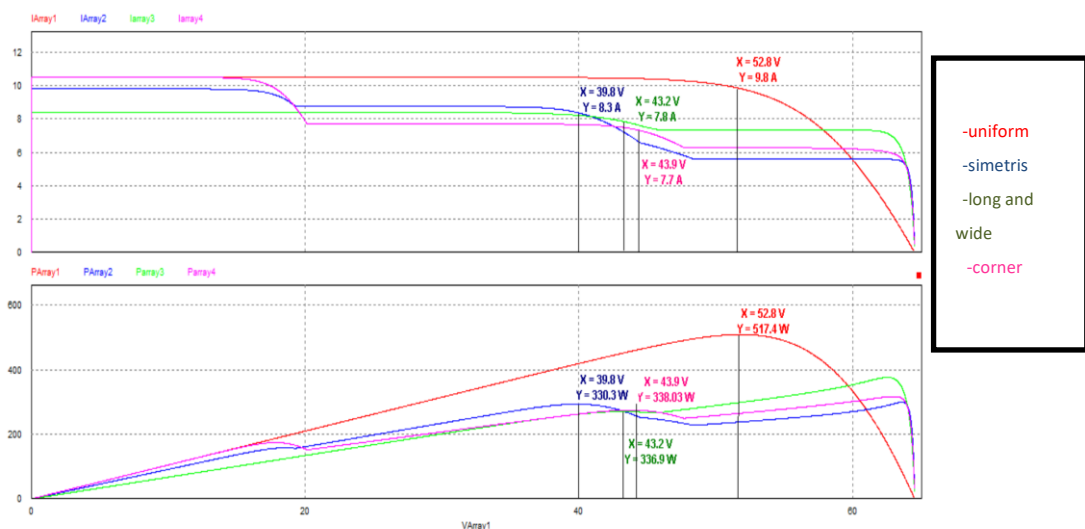
Gambar 7. Hasil simulasi PSIM pada modul PV BL yang mengalami bayangan parsial

Pengambilan titik puncak daya berdasarkan peningkatan daya setelah terjadinya bayangan parsial. Pada gambar 7. modul PV pada kondisi bayangan parsial *uniform*

memperoleh arus sebesar 9.5A dan tegangan sebesar 52.9 V. Maka diperoleh titik puncak daya yang diperoleh pada kondisi *uniform* sebesar 500.5 W. Kondisi *simetris* diperoleh nilai arus dalam simulasi sebesar 8.6A dan nilai tegangan sebesar 38. Untuk titik nilai daya yang diperoleh dari arus dan tegangan yang didapatkan sebesar 327.9 W. Kondisi *long and wide* arus yang ditetapkan sebesar 7.5A maka tegangan yang diperoleh sebesar 46.1 V. Untuk daya maka dapat diperoleh antara hasil kali dari arus dan nilai tegangan, maka diperoleh sebesar 345.3 W. Kondisi *corner* arus yang diperoleh sebesar 7.9 A dan nilai tegangan 42.7 V, maka daya diperoleh sebesar 337.3 W.

### Hasil Simulasi Konfigurasi Honey Comb

Konfigurasi HC terhubung seperti segi enam dari struktur sarang lebah yang dimana modul PV terhubung seri dan juga di paralelkan di salah satu rangkaian yang diserikan. Oleh karena itu, ketidakcocokan konfigurasi larik PV HC lebih tinggi daripada konfigurasi larik PV BL dan lebih kecil dari konfigurasi larik SP PV. Tegangan dan arus keluaran dihitung dengan menambahkan tegangan secara seri dan menambahkan arus secara paralel. Seperti pada Gambar 8. berikut hasil simulasi yang menampilkan nilai I-V dan P-V pada modul PV yang disusun HC.

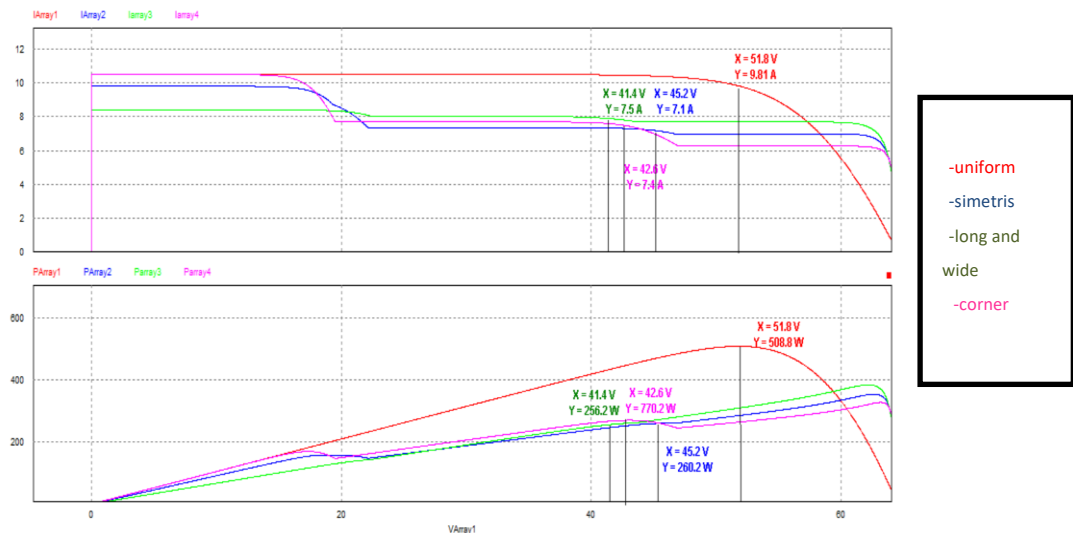


Gambar 8. Hasil simulasi PSIM pada modul PV HC yang mengalami bayangan parsial

Pengambilan titik puncak daya berdasarkan peningkatan daya setelah terjadinya bayangan parsial. Pada gambar 8. modul PV pada kondisi bayangan *uniform* memperoleh arus sebesar 9.8A dan tegangan sebesar 52.8 V. Untuk titik puncak daya yang diperoleh pada kondisi *uniform* sebesar 517.4 W. Kondisi *simetris* diperoleh nilai arus dalam simulasi sebesar 8.63 dan nilai tegangan sebesar 39.8 Untuk titik nilai daya yang diperoleh dari arus dan tegangan yang didapatkan sebesar 330.3 W. Kondisi *long and wide* arus yang ditetapkan sebesar 7.8A maka tegangan yang diperoleh sebesar 43.2 V. Untuk daya maka diperoleh antara hasil kali dari arus dan nilai tegangan, maka diperoleh sebesar 336.9 W. Kondisi *corner* arus yang diperoleh sebesar 7.7 A dan nilai tegangan 43.9 V, maka daya diperoleh sebesar 338.3 W.

### Hasil Simulasi Konfigurasi Triple Tied

Pada konfigurasi TT ini disusun seperti gambar 9. yang dirangkai seperti rangkaian konfigurasi BL dan konfigurasi HC. Pada rangkaian ini terdapat 7 rangkaian paralel. Berikut hasil simulasi yang menampilkan nilai I-V dan P-V pada modul PV yang disusun TT seperti gambar 9.

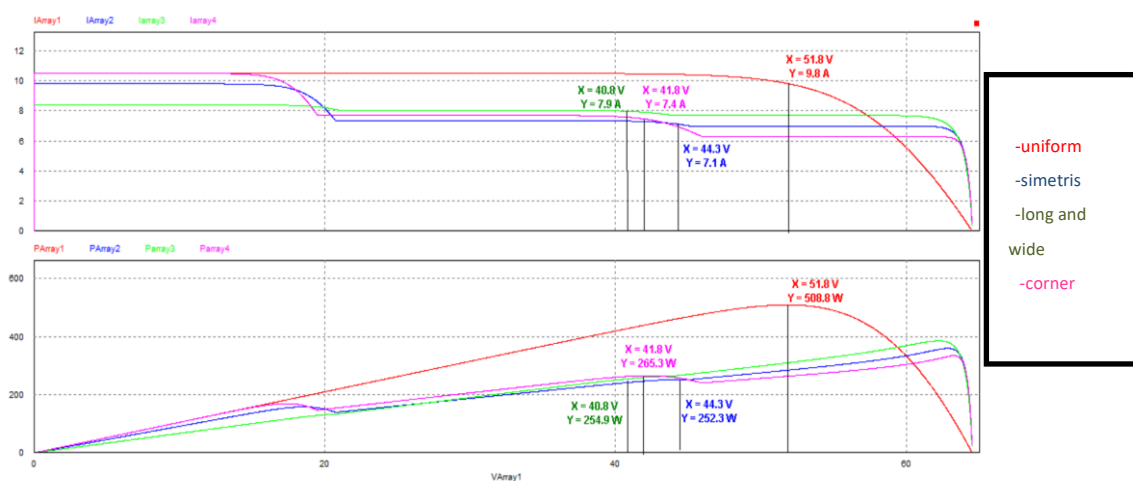


Gambar 9. Hasil simulasi PSIM pada modul PV TT yang mengalami bayangan parsial

Pengambilan titik puncak daya berdasarkan peningkatan daya setelah terjadinya bayangan parsial. Pada gambar 9. modul PV pada kondisi bayangan parsial *uniform* memperoleh arus sebesar 9.8A dan tegangan sebesar 51.8 V. Maka diperoleh titik puncak daya yang diperoleh pada kondisi *uniform* sebesar 508.8 W. Kondisi *simetris* diperoleh nilai arus dalam simulasi sebesar 7.1A dan nilai tegangan sebesar 45.2 Untuk titik nilai daya yang diperoleh dari arus dan tegangan yang didapatkan sebesar 260.2 W. Kondisi *long and wide* arus yang ditetapkan sebesar 7.5A maka tegangan yang diperoleh sebesar 41.4 V. Untuk daya maka dapat diperoleh antara hasil kali dari arus dan nilai tegangan, maka diperoleh sebesar 256.2 W. Kondisi *corner* arus yang diperoleh sebesar 7.4 A dan nilai tegangan 42.6 V, maka daya diperoleh sebesar 220.2 W.

### Hasil Simulasi Konfigurasi *Total Cross Tied*

Konfigurasi TCT pada bagian seri ini dihubungkan secara paralel yang dibentuk seperti matrik. Kemudian konfigurasi TCT ini memungkinkan bypass dioda menjadi lebih kecil sehingga kerugian ketidakcocokan dapat berkurang. Berikut hasil simulasi yang menampilkan nilai I-V dan P-V pada modul PV yang disusun TCT seperti gambar 10.



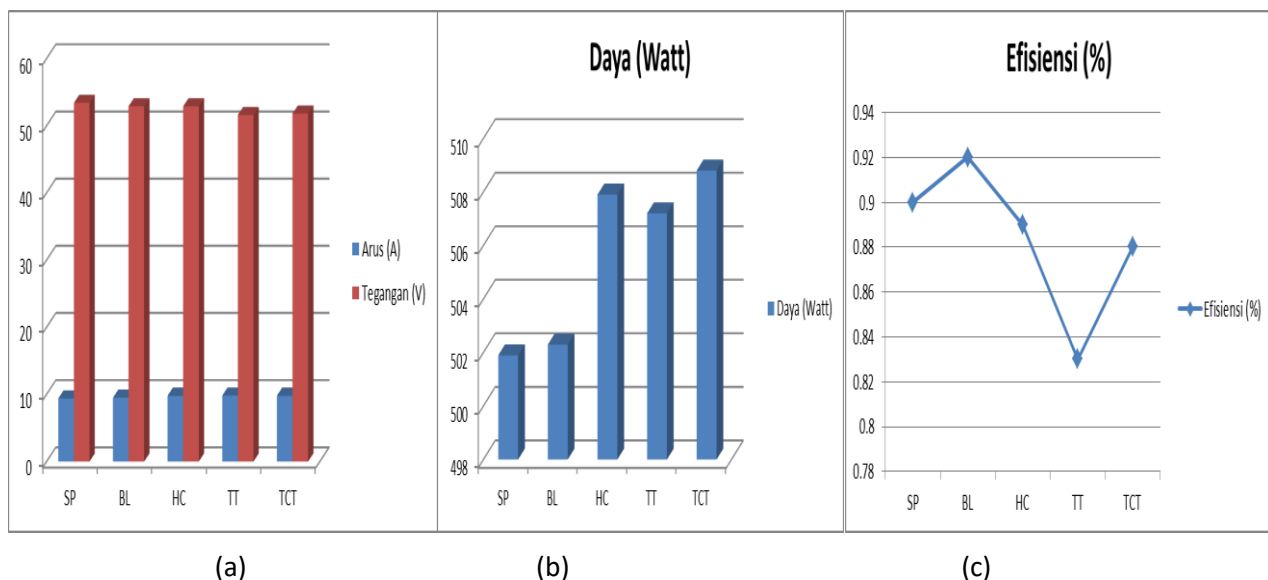
Gambar 10. Hasil simulasi PSIM pada modul PV TCT yang mengalami bayangan parsial

Pengambilan titik puncak daya berdasarkan peningkatan daya setelah terjadinya bayangan parsial. Pada gambar 10. modul PV pada kondisi bayangan parsial *uniform*

memperoleh arus sebesar 9.8A dan tegangan sebesar 51.8 V. Maka diperoleh titik puncak daya yang diperoleh pada kondisi *uniform* sebesar 508.5 W. Dalam kondisi *simetris* diperoleh nilai arus dalam simulasi sebesar 7.1A dan nilai tegangan sebesar 44.3 Untuk titik nilai daya yang diperoleh dari arus dan tegangan yang didapatkan sebesar 252.3 W. Kondisi *long and wide* arus yang ditetapkan sebesar 7.9A maka tegangan yang diperoleh sebesar 40.8 V. Untuk daya maka dapat diperoleh antara hasil kali dari arus dan nilai tegangan, maka diperoleh sebesar 254.9 W. Kondisi *corner* arus yang diperoleh sebesar 7.4 A dan nilai tegangan 41.8 V, maka daya diperoleh sebesar 265.3 W.

### Pembahasan Array PV pada Kondisi *Uniform*

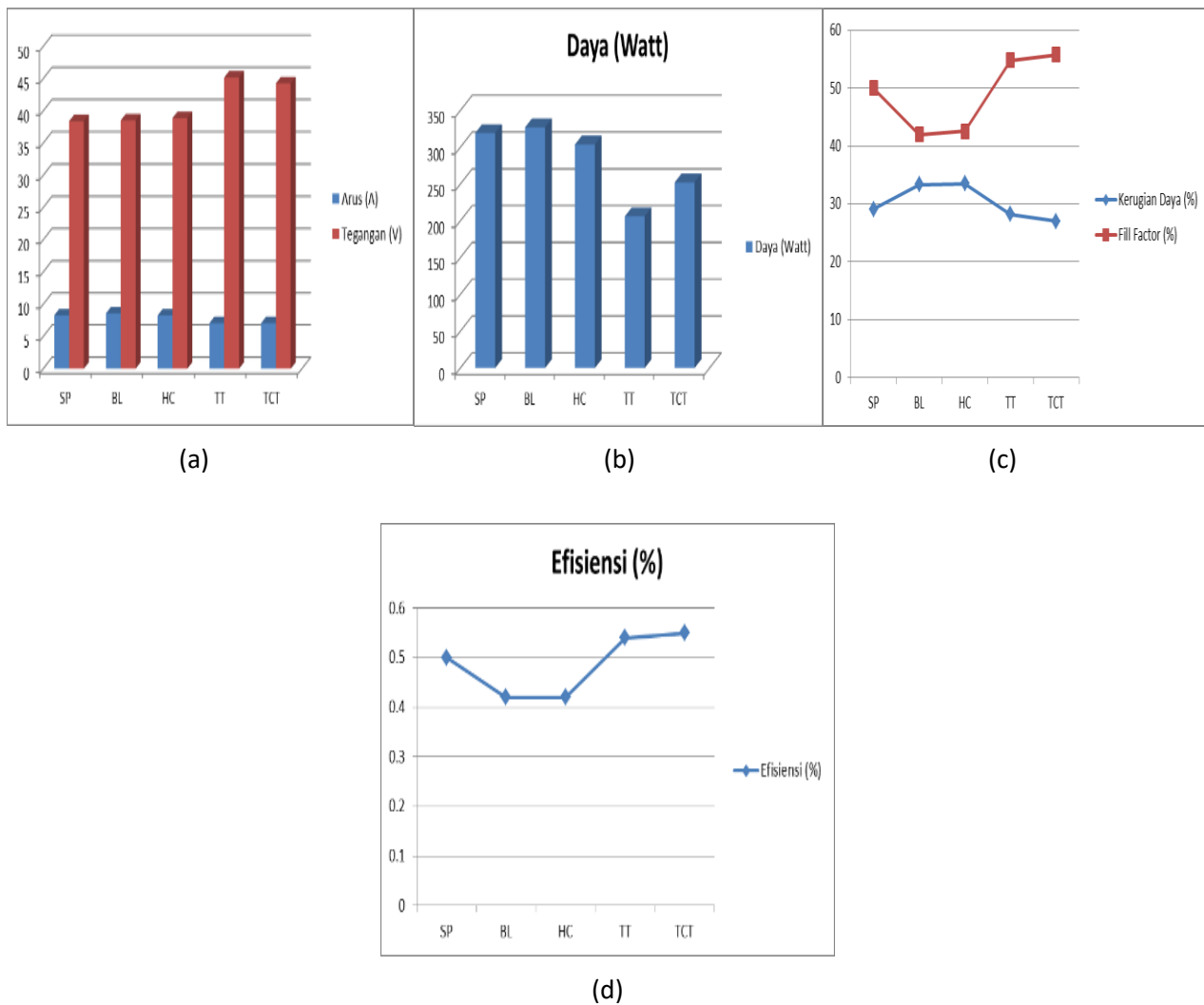
Pada kondisi ini semua modul PV yang di SP, HC, BL, TT, TCT berada di suhu 25° C dan berada di intensitas cahaya yang sama yaitu 1000 W/m<sup>2</sup> memiliki nilai tertinggi arus sebesar 9.8A, tegangan sebesar 53.4V dan nilai daya sebesar 517.4 W. Maka dari hasil tersebut dapat dibandingkan keluaran arus dan tegangan dari masing-masing konfigurasi PV pada Kondisi *uniform* gambar 11 (a). dan gambar 11 (b). Dari hasil simulasi juga diperoleh nilai efisiensi yang dimana nilai tertinggi sebesar 0.92 terjadi pada rangkaian BL dan nilai terendah sebesar 0.83 pada rangkaian TT terlihat pada gambar 11 (c).



Gambar 11. Modul pada kondisi *uniform* (a). Nilai arus dan tegangan (b). Nilai daya (c). Nilai efisiensi

### Pembahasan Array PV pada Kondisi *Simetris*

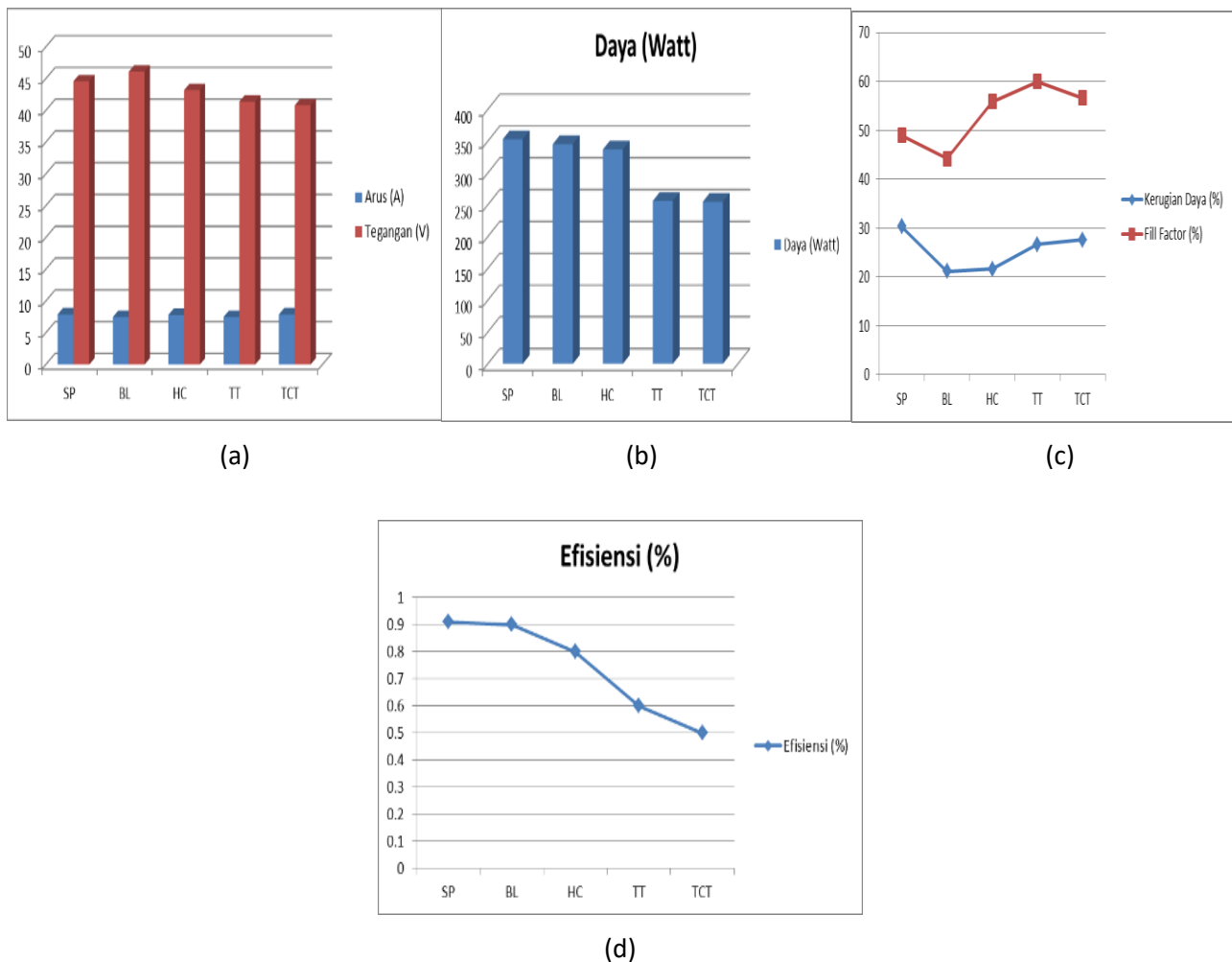
Pada kondisi ini modul PV yang di SP, HC, BL, TT, TCT berada di suhu 25° C dan berada di intensitas cahaya berbeda 1000 W/m<sup>2</sup>, 900 W/m<sup>2</sup>, 800 W/m<sup>2</sup>, 600 W/m<sup>2</sup>, 400 W/m<sup>2</sup>, 200 W/m<sup>2</sup> memiliki nilai tertinggi arus sebesar 8.6A, tegangan sebesar 45.4V dan nilai daya sebesar 330.3 W. Maka dari hasil tersebut dapat dibandingkan keluaran arus dan tegangan dari masing-masing konfigurasi PV bayangan parsial pada Kondisi simetris gambar 12 (a). dan gambar 12(b). Untuk nilai efisiensi pada kondisi *simetris* mengalami nilai tertinggi pada rangkaian TCT sebesar 0.55 dan terendah pada rangkaian BL. Serta TCT mengalami kerugian yg terendah dibanding rangkaian lainnya. Seperti terlihat pada gambar 12 (c).



Gambar 12. Modul PV pada kondisi *simetris* (a). Nilai keluaran arus dan tegangan (b). Nilai daya (c). Nilai *fill factor* dan rugi daya (d). Nilai efisiensi

### Pembahasan Array PV pada Kondisi *Long and Wide*

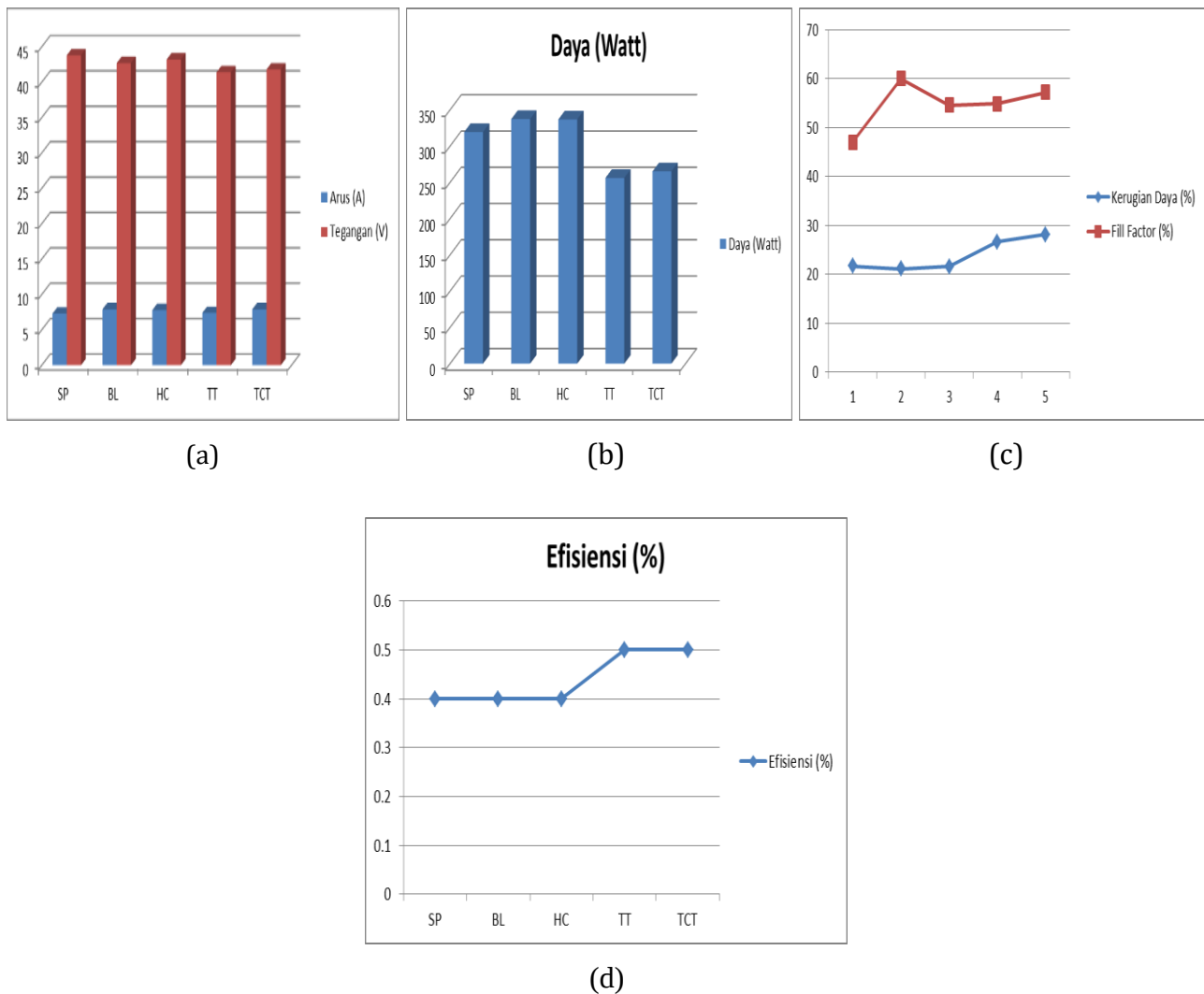
Pada kondisi ini semua modul PV yang di SP, HC, BL, TT, TCT berada di suhu  $25^{\circ}\text{C}$  dan berada di intensitas cahaya yang sama yaitu  $1000\text{ W/m}^2$ ,  $900\text{ W/m}^2$ ,  $800\text{ W/m}^2$ ,  $600\text{ W/m}^2$ ,  $400\text{ W/m}^2$ ,  $200\text{ W/m}^2$  memiliki nilai tertinggi arus sebesar  $8.6\text{ A}$ , tegangan sebesar  $46.1\text{ V}$  dan nilai daya sebesar  $353.23\text{ W}$ . Maka dari hasil tersebut dapat dibandingkan keluaran arus dan tegangan dari masing-masing konfigurasi PV bayangan parsial pada Kondisi *long and wide* gambar 13 (a). dan gambar 13 (b). Untuk nilai efisiensinya pada rangkaian konfigurasi BL memiliki nilai tertinggi dari konfigurasi lainnya dalam pencahayaan *long and wide* seperti gambar 13(d). TCT mengalami kerugian tertinggi dari pada rangkaian lainnya seperti gambar 13 (c). BL merupakan efisiensi tertinggi dari konfigurasi lainnya. Konfigurasi TCT mengalami kerugian daya terkecil dari konvigurasi lainnya.



Gambar 13. Modul PV pada kondisi *long and wide* (a). Nilai arus dan tegangan (b). Nilai daya (c). Nilai rugi daya dan *fill factor* (d). Nilai efisiensi

### Pembahasan Array PV pada Kondisi *corner*

Pada kondisi ini semua modul PV yang di SP, HC, BL, TT, TCT berada di suhu  $25^{\circ}\text{C}$  dan berada di intensitas cahaya yang sama yaitu  $1000\text{ W/m}^2$ ,  $900\text{ W/m}^2$ ,  $800\text{ W/m}^2$ ,  $600\text{ W/m}^2$ ,  $400\text{ W/m}^2$ ,  $200\text{ W/m}^2$  memiliki nilai tertinggi arus sebesar  $7.9\text{ A}$ , tegangan sebesar  $43.9\text{ V}$  dan nilai daya sebesar  $337.3\text{ W}$ . Maka dari hasil tersebut dapat dibandingkan keluaran arus dan tegangan dari masing-masing konfigurasi PV bayangan parsial pada Kondisi *long and wide* gambar 14 (a) dan Gambar 14 (b). Konfigurasi HC mengalami fill faktor sebesar 60 yang dimana lebih tinggi dari yang lainnya dan BL dan HC nilai yang terendah. Untuk rugi daya HC mengalami kerugian yang tinggi dan BL yang terendah seperti gambar 14 (c). Konfigurasi TCT mengalami kerugian daya terkecil dari konfigurasi lainnya.



Gambar 14. Modul PV pada kondisi *corner* (a). Nilai arus dan tegangan (b). Nilai daya (c). Nilai kerugian daya dan nilai *fill faktor* (d). Nilai efisiensi.

### KESIMPULAN

Dalam penelitian ini, penulis melakukan penelitian terhadap 9 modul PV yang disusun 3x3 kemudian setiap modul di rangkai secara *Series Parallel* (SP), *Total Cross Tied* (TCT), *Triple Tied* (TT), *Bridge Link* (BL), *Honey Comb* (HC) disetiap rangkaian akan diatur pencahayaan yang berbeda-beda secara *uniform*, *long and wide*, *simetris* dan *corner* di masing masing modul PV. Dari hasil penelitian dengan menggunakan berbagai tingkat bayangan maka konfigurasi TCT menunjukan hasil yang lebih baik karena pada rangkaian TCT ini memperoleh daya maksimal lebih tinggi dibanding dengan rangkaian konfigurasi lainnya. Dimana perbandingan energi listrik yang dihasilkan pada masing-masing konfigurasi SP, TCT, TT, BL dan HC adalah 501.9 W, 517.5 W, 508.1W, 502.5W, 507.2W.

### DAFTAR RUJUKAN

- [1] M. K. Usman, "Analisis intensitas cahaya terhadap energi listrik yang dihasilkan panel surya," vol. 9, no. 2, pp. 52–58, 2020.
- [2] Asy'ari, Hasyim, Jatmiko, and Angga, "Intensitas cahaya matahari terhadap daya keluaran panel sel surya," pp. 52–57, 2013.

- 
- [3] P. R. Satpathy and S. Jena, "Comparative study of interconnection schemes of modules in solar PV array network," no. April, 2017, doi: 10.1109/ICCPCT.2017.8074185.
  - [4] K. Lappalainen and S. Valkealahti, "Effects of the size of PV arrays on mismatch losses under partial shading conditions caused by moving clouds," no. September, 2013.
  - [5] K. Abdulmawjood, S. Alsadi, S. Member, and S. S. Refaat, "Characteristic study of solar photovoltaic array under different partial shading conditions," *IEEE Access*, vol. PP, p. 1, 2022, doi: 10.1109/ACCESS.2022.3142168.
  - [6] P. Makhija, "Performance analysis of solar MPPT techniques under partial shading condition," vol. 9, no. 08, pp. 408–413, 2020.
  - [7] I. R. Balasubramanian, S. I. Ganesan, and N. Chilakapati, "Impact of partial shading on the output power of PV systems under partial shading conditions," no. August 2013, pp. 657–666, 2014, doi: 10.1049/iet-pel.2013.0143.
  - [8] A. Bennani, B. Abdelghani, H. Ben, and A. Sethom, "Modeling PV installations under partial shading conditions," *SN Appl. Sci.*, vol. 2, no. 4, pp. 1–9, 2020, doi: 10.1007/s42452-020-2458-0.
  - [9] K. S. Tey, S. Mekhilef, and S. Member, "Modified incremental conductance algorithm for photovoltaic system under partial shading conditions and load variation," vol. 61, no. 10, pp. 5384–5392, 2014.
  - [10] E. Koutroulis and F. Blaabjerg, "A new technique for tracking the global maximum power point of PV arrays operating under partial shading conditions," pp. 1–7.
  - [11] R. N. Raghavan, "Improving performance of photovoltaic panel by reconfigurability in partial shading condition," no. February, 2020, doi: 10.1117/1.JPE.10.042004.
  - [12] G. Varshney, "Effect of partial shading on characteristics of PV panel using simscape effect of partial shading on characteristics of PV panel using simscape amardeep chaudhary," no. October, 2015.
  - [13] A. Kumar and Y. K. Chauhan, "Experimental analysis of proposed SP-TCT , TCT-BL and CT-HC configurations under partial shading conditions," no. April 2018, 2016, doi: 10.1109/POWERI.2016.8077323.
  - [14] V. M. J. Manoj, M. J. Kavitha, and M. S. Mythili, "A method to detect photovoltaic array faults in pv systems a method to detect photovoltaic array faults in pv systems," pp. 20–24, 2018.
  - [15] Asnil, Krismandinata, I. Husnaini, and E. Astrid, "Characteristics of photovoltaic modules in various configurations for partial shading," vol. 99, no. 22, pp. 5287–5299, 2021.