

The Performance of the Solar Panel Installation Configuration in the Face of Lighting Changes

Unjuk Kerja Konfigurasi Pemasangan Panel Surya Terhadap Perubahan Pencahayaan

Asnil^{1,2*}, Hanif Hazman¹

Abstract

Partial shadow is one of the factors that affect the efficiency of solar panels, besides temperature and humidity. Partial shade reduces the performance of the solar panel and gives rise to some local maximums. One effort to reduce the negative effects of this partial shade is to reconfigure the installation of solar panels. This study aims to examine the effect of partial shadows with various solar panel configurations. The 3x3 system was used in this study, with several configurations namely Series Parallel (SP), Total Cross Tied (TCT), Triple Tied (TT), Bridge Link (BL), and Honey Comb (HC). The test results are monitored through a Visual Basic-based interface that displays data in graphical form. The test results show that the configuration that produces the most energy is TCT followed by TT, BL, HC and SP which produces the lowest energy from all tests.

Keywords

Series Parallel (SP), Total Cross Tied (TCT), Triple Tied (TT), Bridge Link (BL), Honey Comb (HC)

Abstrak

Bayangan parsial merupakan salah satu faktor yang mempengaruhi efisiensi dari panel surya, disamping suhu dan kelembapan. Bayangan parsial membuat kinerja panel surya tidak maksimal dan menimbulkan beberapa titik maksimum lokal. Salah satu upaya untuk mengurangi efek negatif dari bayangan parsial ini adalah dengan melakukan rekonfigurasi pemasangan panel surya. Penelitian ini bertujuan untuk melihat pengaruh bayangan parsial dengan berbagai konfigurasi pemasangan panel surya. Sistem yang digunakan adalah 3x3 dengan konfigurasi Series Parallel (SP), Total Cross Tied (TCT), Triple Tied (TT), Bridge Link (BL), dan Honey Comb (HC). Hasil pengujian dimonitoring melalui interface berbasis Visual Basic yang menampilkan data dalam bentuk grafik. Hasil pengujian menunjukkan konfigurasi yang menghasilkan energi paling besar adalah TCT kemudian diikuti oleh TT, BL, HC dan SP menghasilkan energi yang paling rendah dari semua pengujian.

Kata Kunci

Series Parallel (SP), Total Cross Tied (TCT), Triple Tied (TT), Bridge Link (BL), Honey Comb (HC)

¹ Departemen Teknik Elektro, Fakultas Teknik Universitas Negeri Padang

Kampus I UNP Air Tawar, jln. Prof. DR. Hamka, Padang

² Centre for Energi and Power Electronics Research, Universitas Negeri Padang

Jalan Prof. Dr. Hamka, Air Tawar, Padang, 25131, Indonesia

* asnil81@ft.unp.ac.id

Submitted : October 05, 2022. Accepted : December 05, 2022. Published : December 07, 2022.

PENDAHULUAN

Kebutuhan energi dunia terus mengalami peningkatan, maka diperlukan sumber energi alternatif sebagai tambahan untuk memenuhi kebutuhan energi tersebut. Salah satu alternatifnya dengan memanfaatkan energi terbarukan seperti pemanfaatan air, panas matahari, angin dan lainnya. Di Indonesia sendiri berada di iklim tropis yang 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. Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) merupakan salah satu sumber energi terbarukan yang dapat diperoleh dengan mudah di Indonesia. PLTS ini memanfaatkan energi cahaya matahari sebagai sumber utama untuk menghasilkan energi listrik. Energi listrik dihasilkan dari modul *Photovoltaic* (PV) dengan mengubah energi panas menjadi energi listrik[1], [2].

Efek *photovoltaic* merupakan fenomena fisika dimana energi cahaya yang mengenai permukaan sel surya akan diubah menjadi energi listrik. Arus listrik dapat timbul karena energi cahaya berhasil membebaskan elektron - elektron pada sambungan semikonduktor tipe n dan tipe p. *Depletion layer* adalah pertemuan antara substrat tipe P dan substrat tipe N. Prinsip kerja yaitu apabila cahaya jatuh pada solar cell, *depletion layer* akan berkurang dan elektron berpindah melalui hubungan "pn"[3]–[5]. Besarnya arus yang mengalir sebanding dengan perpindahan elektron yang ditentukan intensitas cahayanya. Untuk mengurangi pengaruh bayangan parsial penulis menggunakan metode rangkaian konfigurasi pada panel surya yang disusun 3x3. 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 maksimal atau *Maximum Power Point* (MPP) menimbulkan karakteristik P-V bervariasi secara *non-linier* [3]–[7].

Beberapa penelitian juga pernah melakukan perancangan dan pembuatan monitoring panel surya, dalam penelitian ini juga menggunakan software Microsoft Visual Basic sebagai interface-nya. Pada penelitian ini masih memiliki kekurangan hanya menginformasikan status baik, kurang baik dan hanya menampilkan nilai tegangan serta arus [2]. Kemudian monitoring pada panel surya menggunakan data logger berbasis ATmega 328 dan real time clock ds1307. Penelitannya ini menggunakan data logger yang merekam hasil data-data sensor, kemudian data tersebut disimpan pada *Micro SD* yang dilengkapi dengan modul RTC DS1307. Namun memiliki kelemahan pada interface serta ruang penyimpanan data yang masih terbatas [8], [9].

Dalam penelitian ini, penulis melakukan percobaan terhadap 9 modul PV yang disusun 3x3, setiap modul PV akan di rangkai secara *Series Parallel* (SP), *Total Cross Tied* (TCT), *Bridge Link* (BL), *Triple Tied* (TT), *Honey Comb* (HC) pada masing-masing rangkaian akan diatur pencahayaan yang berbeda-beda kemudian diberi bayangan parsial. Dalam percobaan ini penulis akan membandingkan dari keluaran nilai arus, tegangan dan nilai daya keluaran dari modul PV masing modul yang mengalami bayangan secara *uniform*, *Long and Wide*, *simetris* dan *corner*. Dalam pemodelan ini peneliti membuat sebuah monitoring menggunakan *software visual basic* untuk menampilkan data pembacaan nilai dari sensor serta menampilkan grafik hasil dari keluaran sensor,kelebihan dari monitoring ini dari penelitian lain yaitu mampu menyimpan data yang telah di konversi ke *Microsoft Excel* dan mampu menyimpan data lebih banyak lagi.

Panel Surya

Pembangkit Listrik Tenaga Surya merupakan pembangkit listrik yang memanfaatkan panas dari matahari sebagai sumber energi utama yang akan menghasilkan energi listrik melalui modul *photovoltaic* (PV). PV sendiri merupakan semikonduktor yang dapat merubah cahaya secara langsung menjadi menjadi arus listrik searah (DC) dengan menggunakan kristal

silicon (Si) yang tipis. Penggunaan energi ini mempunyai keunggulan berupa sumber daya alam yang tidak habis, tidak menimbulkan polusi udara, biaya rendah, namun memiliki kekurangan yaitu kepekaan modul PV terhadap beberapa faktor lingkungan seperti suhu, temperature dan penyinaran matahari. Untuk mendapatkan keluaran yang sangat besar atau maksimal modul PV pada panel surya perlu digabungkan atau dihubungkan sel surya baik secara seri ataupun secara paralel untuk menghasilkan tegangan, arus, dan daya[10], [11].

Panel surya menghasilkan arus beragam tergantung pada tegangan, ketika tegangan pada modul PV sama dengan nol maka terbaca nilai arus pendek atau *short circuit current* (Isc), yang dimana nilai ini sebanding dengan irradiansi terhadap modul PV. Jika arus bernilai nol maka modul PV mengalami rangkaian terbuka, maka terbaca nilai tegangan yang mengalami *voltage open circuit*. Daya maksimum atau *Maximum Power Point* (MPP) diperoleh ketika tegangan terbuka dan arus pendek sama dengan irradiansi dan suhu[12].

Kondisi Bayangan Parsial

Bayangan parsial terjadi ketika kondisi salah satu atau lebih modul PV tertutup dari sinar matahari yang mengakibatkan nilai keluarannya lebih rendah dari nilai keluaran maksimalnya. Bayangan parsial mengurangi daya keluaran dari panel surya secara signifikan. Untuk mengurangi dampak tersebut setiap modul PV dipasang *bypass diodes*, agar modul PV yang bermasalah akan secara otomatis terlepas dari *array*. Efek bayangan dapat mengurangi radiasi matahari dan berakibat pada penurunan energi. Bayangan parsial biasanya diakibatkan seperti pohon, daun tumbang, cerobong asap, awan yang berada di atas modul PV.

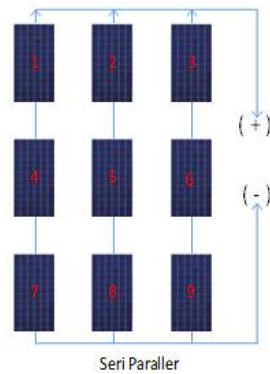
Terdapat solusi dalam mengatasi efek bayangan yakni dengan menggunakan *diode bypass* atau pengoptimalan daya, namun diode bypass belum sepenuhnya melindungi sel surya dari efek bayangan. Strategi untuk mengurangi efek bayangan adalah dengan mengamati pola bayangan dengan menggunakan metoda rangkaian konfigurasi[7], [9], [13].

Rangkaian Konfigurasi Panel Surya

Modul PV yang dipengaruhi bayang parsial akan mengakibatkan kehilangan daya maksimal, maka dari itu ada beberapa metode untuk mengurangi kerugian daya tersebut dengan menggunakan teknik *converter*, teknik *Maximum Power Point Tracking* (MPPT), konfigurasi array PV, dan cara konfigurasi ulang tingkat lanjutan[14]. Pada penelitian ini peneliti mencoba salah satu metode konfigurasi modul PV untuk memaksimalkan hasil daya maksimum pada saat mengalami bayangn parsial. Konfigurasi yang digunakan pada penelitian ini yaitu *seri - parallel* (PS), konfigurasi *Bridge Link* (BL), konfigurasi *Honey Comb* (HC), konfigurasi *Triple Tied* (TT), konfigurasi *Total Cross Tied* (TCT). Pada penelitian ini peneliti mencoba melakukan berbagai percobaan dengan menutup modul PV menggunakan kain kapas sebagai kondisi bayangan. Kondisi tersebut dilakukan secara *uniform, diagonal, simetris, corner*[10][15].

Konfigurasi Modul PV secara *Seri - Paraller*

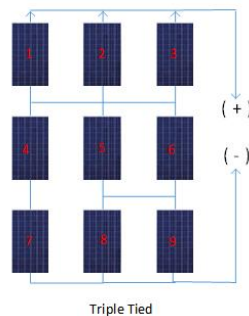
Pada modul PV dihubungkan seri maka nilai tegangan akan naik dan nilai arus pada modul akan tetap, maka digunakanlah rangkaian seri dan paralel untuk memaksimalkan nilai keluaran dari modul PV 3x3. Rangkain konfigurasi ini awalnya disusun seri kemudian pada sisi keluaran yang sama akan di paralelkan seperti Gambar 1. Kelemahan dari konfigurasi ini yaitu masih mengalami rugi daya, dan ketidak cocokan pada modul PV, dan apabila salah satu pada rangkaian seri rusak maka bagian seri tersebut modul tidak akan bekerja.



Gambar 1. Rangkaian Konfigurasi modul PV secara Seri Paralel

Konfigurasi Modul PV secara *Triple Tied* (TT)

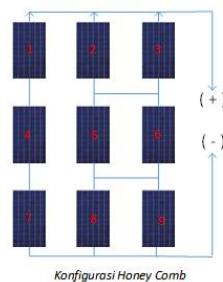
Konfigurasi TT menghubungkan masing-masing rangkaian seri kemudian diparalelkan, akan tetapi rangkaian ini menerapkan seperti anak tangga yang dimana rangkaian pada modul PV 3x3 ada yang tidak diparalelkan seperti Gambar 2. Rangkaian ini lebih sedikit mengalami rugi daya dari pada rangkaian SP.



Gambar 2. Rangkaian konfigurasi modul PV secara TT

Konfigurasi Modul PV secara *Honey Comb* (HC)

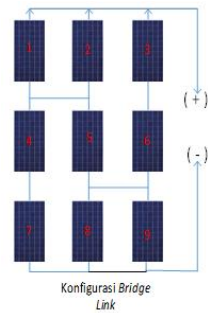
Konfigurasi HC ini menerapkan rangkaian seperti sarang lebah, dimana salah satu sisi terdapat rangkaian seri dan salah satu rangkaian seri dihubungkan parallel pada masing-masing modul. Terlihat seperti Gambar 3 berikut yang disusun modul PV 3x3.



Gaambar 3. Rangkaian konfigurasi modul PV secara HC

Konfigurasi Modul PV secara *Bridge Link* (BL)

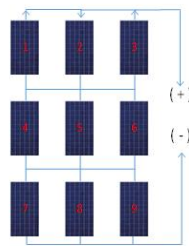
Rangkaian konfigurasi BL merupakan rangkaian yang digunakan untuk mengurangi kerugian yang akan dialami pada rangkaian konfigurasi SP yang dimana setiap salah rangkaian seri di paralelkan. Seperti terlihat pada Gambar 4.



Gambar 4. Rangkaian konfigurasi modul PV secara BL

Konfigurasi Modul PV secara *Total Cross Tied* (TCT)

Rangkaian konfigurasi ini memparalelkan semua rangkaian seri pada modul PV yang telah dirangkai. Terlihat seperti Gambar 5 yang dimana berfungsi sebagai multi interaksi memungkinkan dioda bypass menjadi lebih kecil untuk beroperasi sehingga kerugian ketidaksesuaian berkurang.



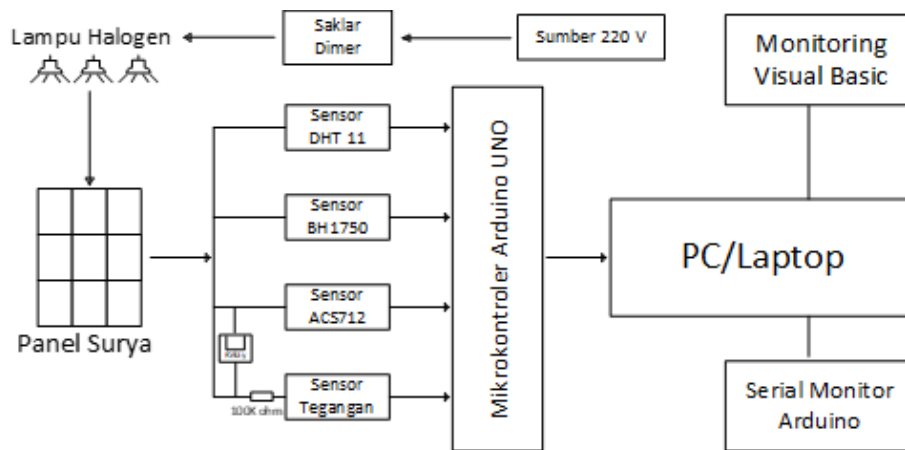
Gambar 5. Rangkaian konfigurasi modul PV secara TCT

METODE PENELITIAN

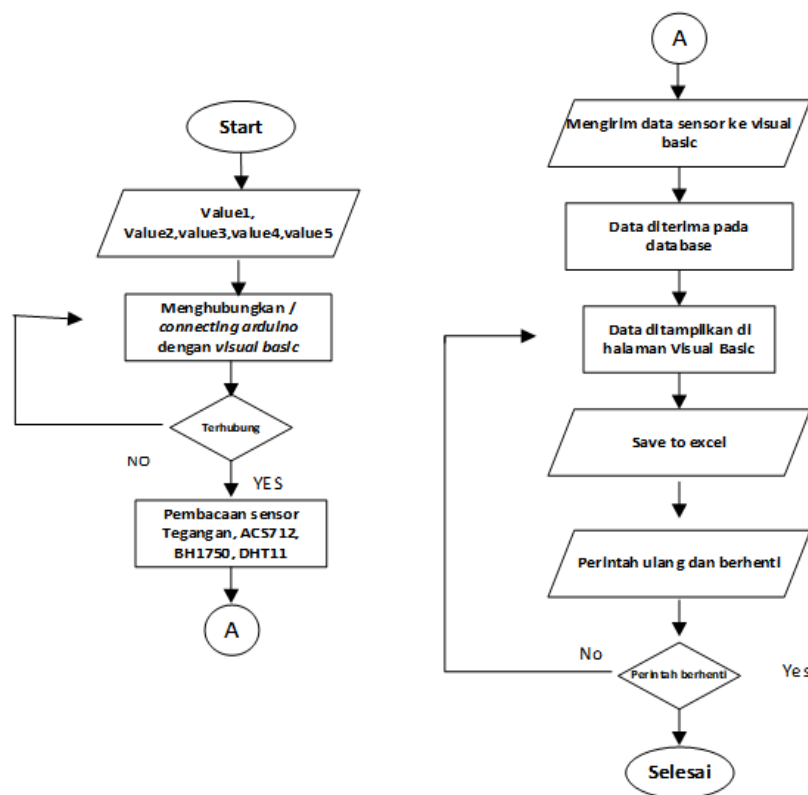
Penelitian ini menggunakan metode rancang bangun simulator untuk pengujian panel surya. Sistem pemasangan panel surya dibuat dalam bentuk 3 x 3 dengan berbagai konfigurasi rangkaian. Tujuannya adalah untuk melihat konfigurasi mana yang dapat menghasilkan energi paling besar ketika adanya bayangan yang menghalangi sinar matahari ke permukaan panel surya. Konfigurasi yang digunakan adalah SP, TCT, TT, BL dan HC. Hasil pengujian disajikan dalam bentuk grafik menggunakan bantuan aplikasi *Visual Basic* yang dirancang sebagai sistem monitoring pada saat melakukan pengujian. Untuk cahaya disini peneliti menggunakan lampu halogen 500W sebagai sumber cahaya yang diletakkan di atas permukaan panel surya. Gambar 6 merupakan blok diagram dari sistem yang di uji sedangkan Gambar 7 merupakan diagram alir dari sistem pengujian.

Blok Diagram

Perancangan blok diagram digunakan untuk mempermudah dalam perancangan suatu alat yang bersifat menyeluruh. Berikut blok diagram dari keseluruhan komponen seperti Gambar 6.



Gambar 6. Blok diagram simulator



Gambar 7. Diagram alir / flowchart

Secara garis besar prinsip kerja dari alat ini yaitu memonitoring output dari panel surya ketika modul PV tersebut terkena cahaya, maka panel tersebut mengkonversi energi cahaya menjadi energi listrik. Lampu halogen berfungsi sebagai sumber cahaya pada panel surya, kemudian saklar dimer berfungsi sebagai mengatur pencahayaan pada lampu halogen. Selanjutnya beberapa sensor seperti sensor DHT11 sebagai mengukur suhu kelembaban, sensor ACS 712 sebagai pembaca nilai arus keluaran , sensor tegangan sebagai menghitung nilai tegangan, dan sensor BH1750 sebagai mengukur intensitas cahaya yang bekerja pada panel, selanjutnya output dari sensor tersebut lalu dikirim serial data ke mikrokontroler arduino, dan juga relay digunakan sebagai pemisah antara pembacaan nilai arus dan tegangan agar tidak membaca secara serentak, kemudian pada arduino mengirim data serial ke pc atau ke software, visual basic yang digunakan sebagai monitoring keluaran panel tersebut.

Spesifikasi Panel Surya 10WP Monocrystalline tipe InsCOM

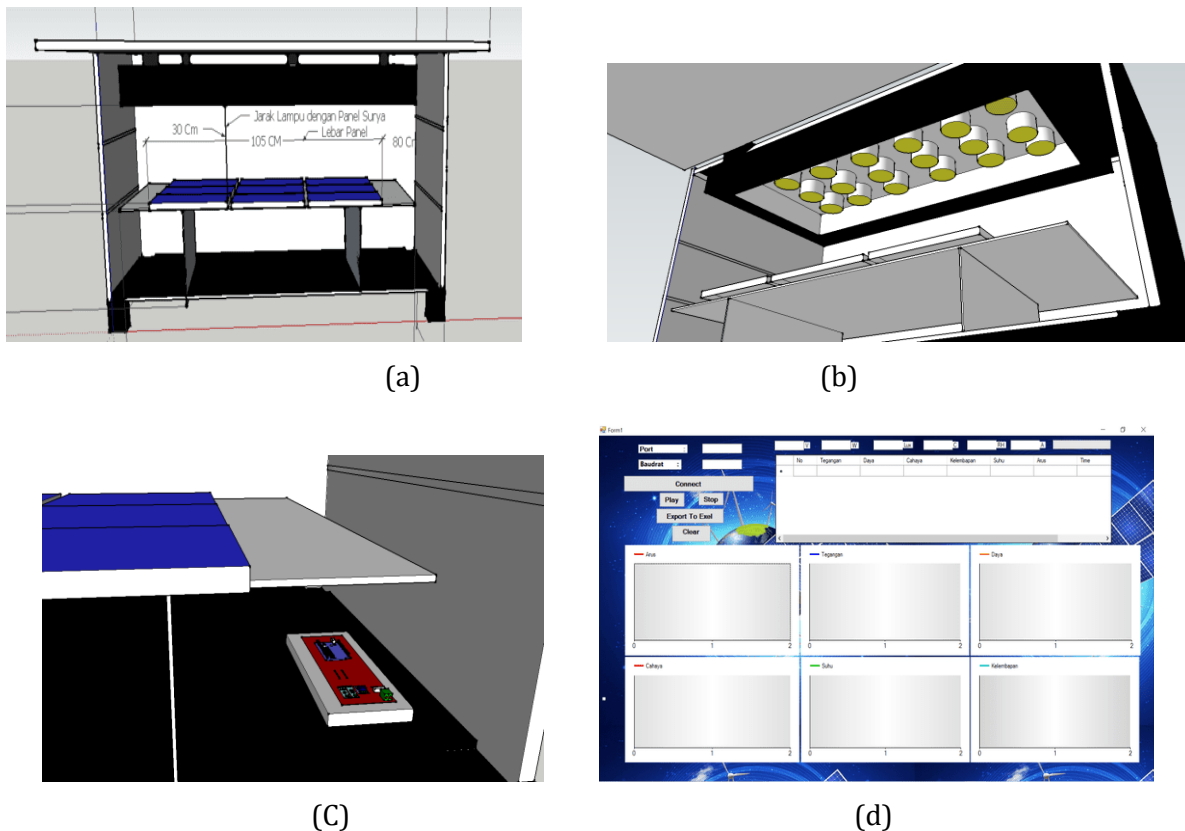
Tabel 1 menunjukkan spesifikasi dari panel surya yang digunakan pada penelitian ini.

Tabel 1. Spesifikasi Panel Surya KKM-2710

No	Parameter	Variabel	Values
1	Maximum Power	Pmax	10W
2	Maximum Power Voltage	Vmp	18.57V
3	Maximum Power Current	Imp	0.5A
4	Open Circuit Voltage	Voc	22.64V
5	Short Circuit Current	Isc	0.58A
6	Nominal Operating Cell Temp	NOCT	48 ± 2 °C
7	Maximum Sistem Voltage		715DC
8	Maximum Series Fuse		18A
9	Dimention	mm	350mm * 260mm * 17mm

Rancangan Desain Box Panel dan Desain Visual Basic

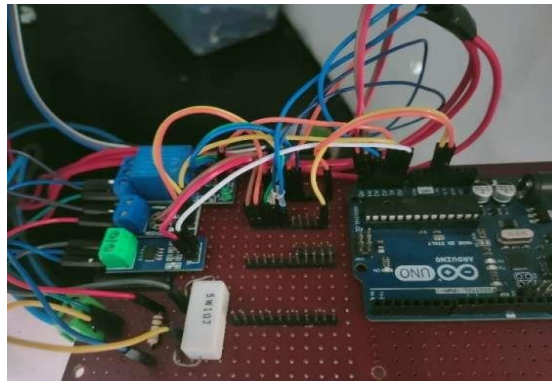
Sebelum melakukan pekerjaan untuk bagian *hardware*, alangkah sebaiknya hal utama yang perlu dilakukan adalah membuat desain untuk mempermudah dalam pengerjaannya. Berikut beberapa tampak desain seperti Gambar 8.



Gambar 8. (a) Posisi panel surya di box tampak depan, (b) Posisi lampu pada box, (c) letak komponen (d). Tampilan rancangan *visual basic*

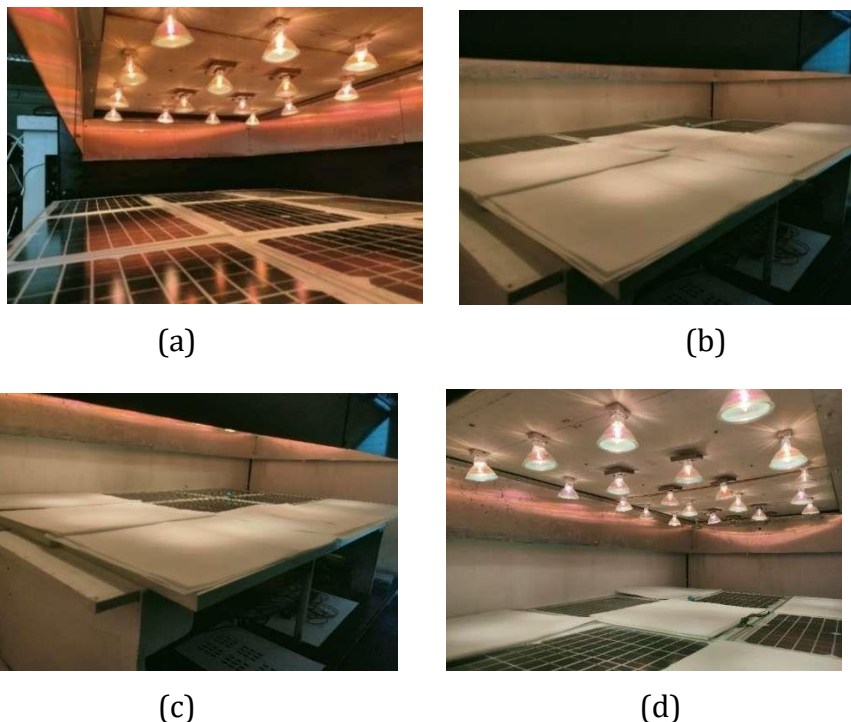
HASIL DAN PEMBAHASAN

Dari percobaan ini peneliti mampu memonitoring data berupa nilai dari masing-masing sensor serta bentuk grafik dari keluarannya yang langsung ditampilkan di *software visual basic*. Berikut tampilan rangkaian *hardware* pada penelitian kali ini seperti Gambar 9.



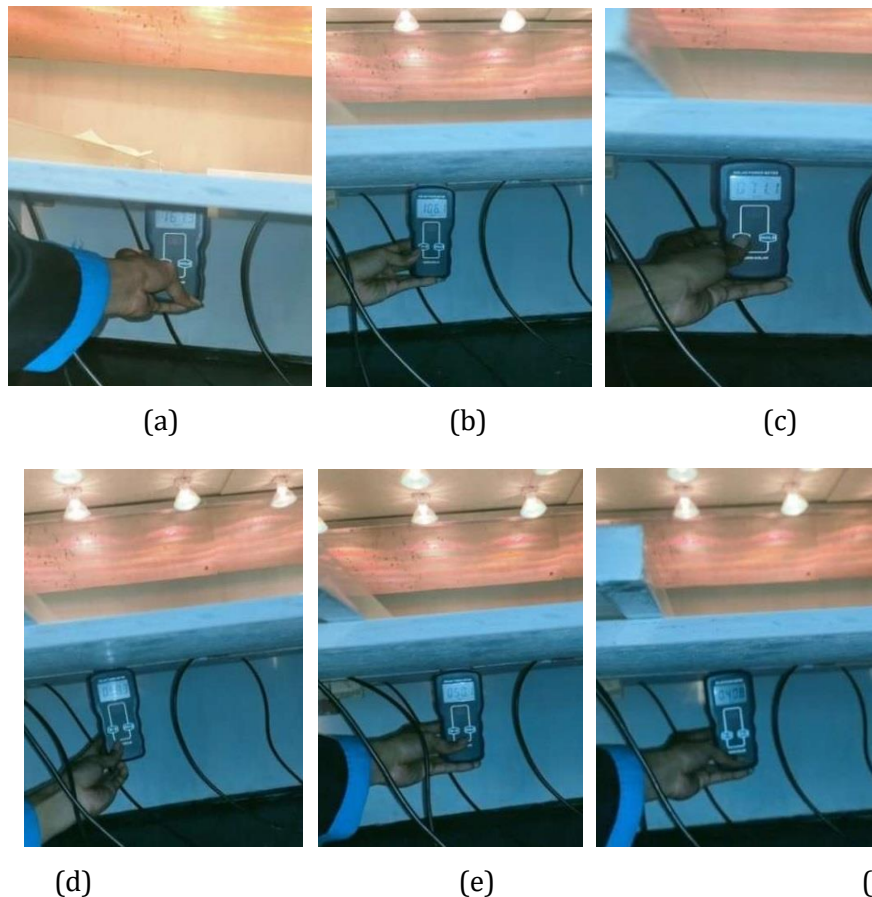
Gambar 9. Rangkaian pengambil data / data acquisition circuit

Dari rangkaian **Gambar 9** tersusun dari sensor ACS712 sebagai pembaca nilai arus, kemudian sensor tegan yang dihubungkan dengan relay sebagai pemutusan untuk membaca nilai arus I_{cs} . Pada penelitian ini saklar dimer digunakan sebagai pengatur pencahayaan lampu, lampu yang digunakan yaitu lampu halogen 220V yang bisa menghasilkan cahaya serta panas. Kemudian pada panel surya akan ditutupi permukaannya dengan menggunakan kain kapas dengan posisi dan ketebalan yang berbeda-beda. Pendiskripsian ini bayangan parsial ini menggunakan kain kapas sebagai penutup panel surya yang akan disusun secara *uniform, corner, wide and long*, dan *simetris*, masing - masing terlihat seperti **Gambar 10**.



Gambar 10. Metode (a) Bayang parsial secara *uniform*, (b) Bayangan parsial secara *Long and Wide* (c) Bayangan parsial secara *corner* (d) Bayangan parsial secara *simetris*

Untuk mengukur ketebalan kain kapas yang akan digunakan sebagai bayangan parsial tersebut peneliti menggunakan alat ukur *Solar Power Meter*, dengan cara meletakkan kain kapas diatas alat ukur dan dibawah lampu dengan posisi sejajar dengan panel surya. Berikut hasil dari pengukuran masing-masing ketebalan kain kapas yang akan digunakan sebagai bayang parsial pada penelitian ini, terlihat seperti **Gambar 11**.



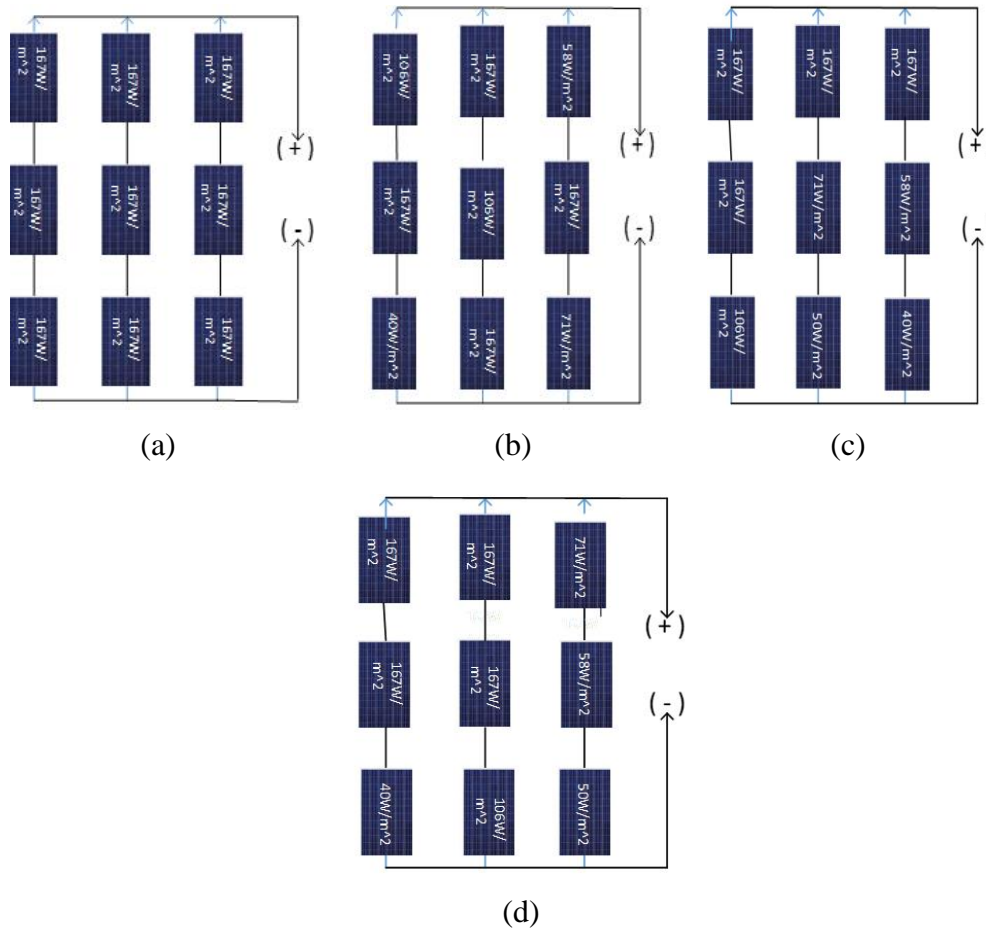
Gambar 11. mengukur Ketebalan Kain kapas menggunakan alat ukur *Solar Power Meter* (a) tanpa kain kapas (b). 1 kain kapas (c). 2 kain kapas (d). 3 kain kapas (e). 4 kain kapas (f). 5 kain kapas

Pendiskripsian bayangan parsial menggunakan ketebalan kain kapas dengan mengukur masing-masing kain kapas maka diperoleh masing-masing bayangan parsial seperti pada [Tabel 2](#).

Tabel 2 Pengujian ketebalan naungan

No	Ketebalan Penutup Panel	Solar Panel Meter (W/m^2)
1	tanpa kain kapas	167.3 (W/m^2)
2	1 kain kapas	106.1 (W/m^2)
3	2 kain kapas	71.1 (W/m^2)
4	3 kain kapas	58.0 (W/m^2)
5	4 kain kapas	50.1 (W/m^2)
6	5 kain kapas	40.8 (W/m^2)

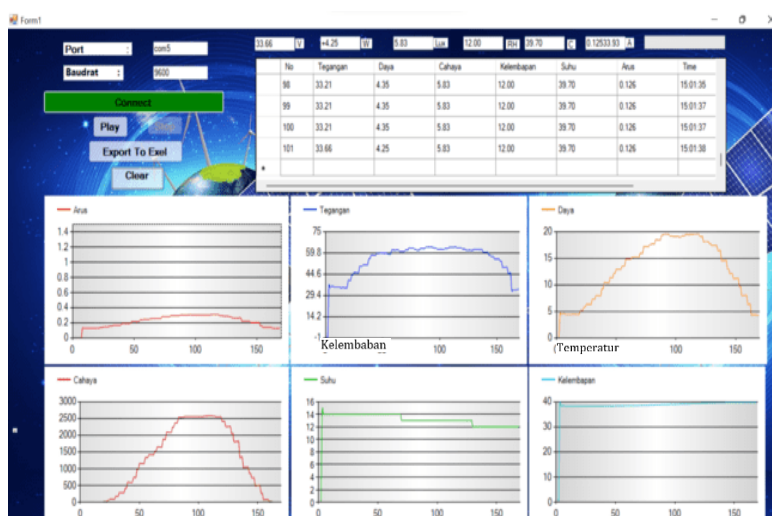
Pada penelitian ini menggunakan beberapa pola bayangan untuk melihat energi yang dihasilkan oleh berbagai konfigurasi rangkaian pemasangan panel surya. Diantaranya pola tersebut adalah *uniform, simetris, corner, long and wide* dengan berbagai desain untuk tingkat radiasi. Berikut ini susunan pola bayangan yang akan dipasang dengan beberapa konfigurasi rangkaian seperti [Gambar 12](#).



Gambar 12. (a) Pola bayangan *unifrom*, (b) Pola bayangan *simetris* (c) Pola bayangan *long and wide* (c) Pola bayangan *corner*

Konfigurasi Seri Paralel

Menggunakan sistem monitoring terlihat titik puncak Voc atau nilai tegangan maksimum terbuka bernilai 64.3 V dan nilai maksimum Isc bernilai 0.3 A dengan cahaya maksimal sebesar 2500 lux. Nilai suhu sebesar 40 °C dan kelembapan sebesar 14 RH. Daya maksimum dari rangkaian ini diperoleh sebesar 19.2W, terlihat seperti Gambar 13.



Gambar 13. Tampilan *visual basic* untuk konfigurasi SP

Hasil monitoring dari berbagai metoda yang telah dilakukan dengan mengatur pencahayaan yang mengenai panel surya terlihat pada Tabel 3. Pengambilan data dilakukan dalam satuan detik pada sumbu x.

Tabel 3. Hasil pembacaan monitoring rangkaian SP

Pola Bayangan (Shadow)	Voc (V)	Isc (A)	Energi yang dihasilkan (W)	Temperatur (C)	Humidity (RH)
Unifrom	63.2	0.293	18.5	40	14
Simetris	60.42	0.207	12.5	40	14
Corner	61.8	0.22	14	40	14
Long and wide	61.23	0.2	12.2	40	14

Konfigurasi Bridge Link

Menggunakan sistem monitoring terlihat titik puncak Voc atau nilai tegangan maksimum terbuka bernilai 63.2 V dan nilai maksimum Isc bernilai 0.3 A dengan cahaya maksimal sebesar 2500 lux. Nilai suhu sebesar 32 °C dan kelembapan sebesar 40 RH. Nilai kelembapan pada percobaan ini lebih tinggi disebabkan suhu didalam box belum panas oleh lampu mengakibatkan kelembapan di dalam box lebih tinggi nilainya. Nilai kelembapan Daya maksimum dari rangkaian ini diperoleh sebesar 18.9 W, terlihat seperti Gambar 14.



Gambar 14. Hasil visual basic untuk konfigurasi BL

Hasil monitoring dari berbagai metoda yang telah dilakukan dengan mengatur pencahayaan yang mengenai panel surya terlihat pada Tabel 4. Pengambilan data dilakukan dalam satuan detik pada sumbu x.

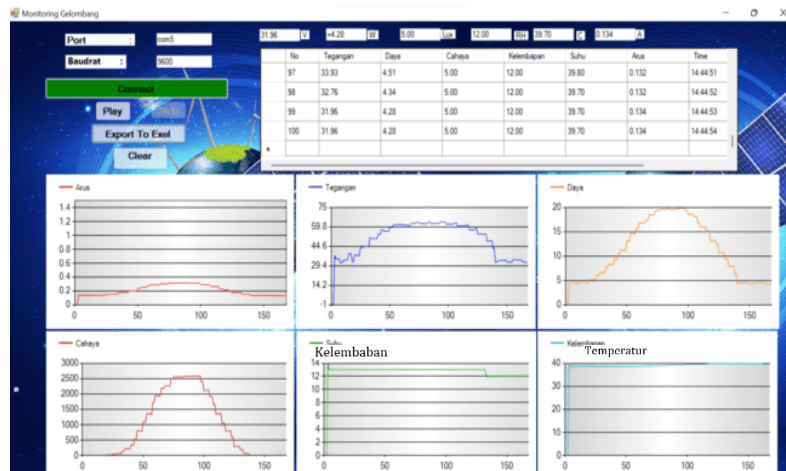
Tabel 4. Hasil monitoring rangkaian BL.

Pola Bayangan (Shadow)	Voc (V)	Isc (A)	Energi yang dihasilkan (W)	Temperatur (C)	Humidity (RH)
Unifrom	63.2	0.3	18.98	32	40
Simetris	61.14	0.208	12.7	32	40
Corner	61.59	0.228	13.04	32	40
Long and wide	61.8	0.205	12.5	32	40

Konfigurasi Honey Comb

Menggunakan monitoring terlihat titik puncak Voc atau nilai tegangan maksimum terbuka bernilai 63.3 V dan nilai maksimum Isc bernilai 0.3 A dengan cahaya maksimal

sebesar 2500 lux. Nilai suhu sebesar 40 °C dan kelembapan sebesar 13 RH. Daya maksimum dari rangkaian ini diperoleh sebesar 18.99 W, terlihat seperti Gambar 15.



Gambar 15. Hasil visual basic untuk konfigurasi secara HC

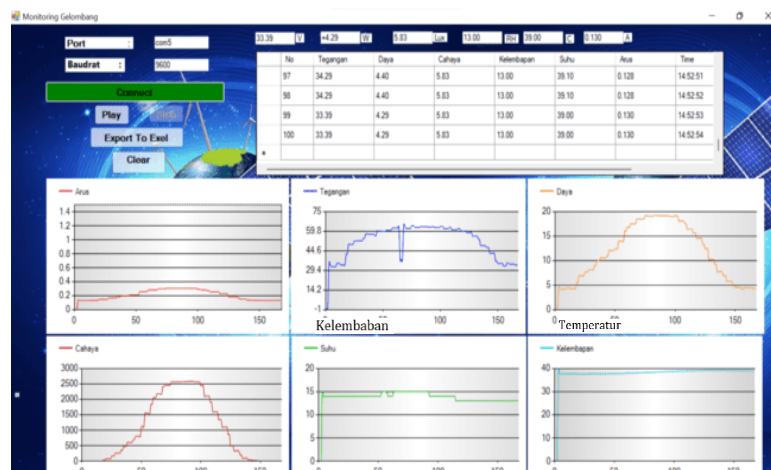
Berikut hasil monitoring dari berbagai metoda yang telah dilakukan dengan mengatur pencahayaan yang mengenai panel surya terlihat pada Tabel 5. Pengambilan data dilakukan dalam satuan detik pada sumbu x.

Tabel 5. hasil monitoring rangkaian HC berbagai metode.

Pola Bayangan (Shadow)	Voc (V)	Isc (A)	Energi yang dihasilkan (W)	Temperatur (C)	Humidity (RH)
Unifrom	63.3	0.3	18.99	40	13
Simetris	62.57	0.209	13.07	40	13
Corner	61.77	0.242	14.9	40	13
Long and wide	61.14	0.204	12.4	40	13

Konfigurasi Triple Tied

Menggunakan sistem monitoring terlihat titik puncak Voc atau nilai tegangan maksimum terbuka bernilai 63.22 V dan nilai maksimum Isc bernilai 0.31 A dengan cahaya maksimal sebesar 2500 lux. Nilai suhu sebesar 40 °C dan kelembapan sebesar 15 RH. Daya maksimum dari rangkaian ini diperoleh sebesar 19.5 W, terlihat seperti Gambar 16. Pengambilan data dilakukan dalam satuan detik pada sumbu x.



Gambar 16. Hasil Monitoring visual basic untuk konfigurasi TT

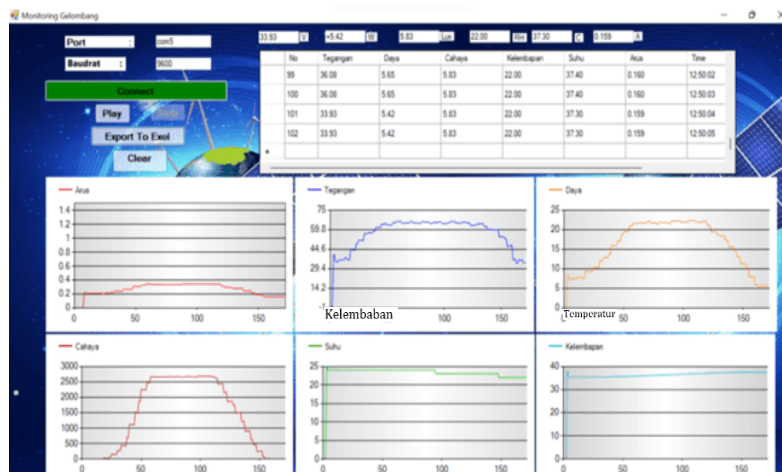
Berikut hasil monitoring dari berbagai metoda yang telah dilakukan dengan mengatur pencahayaan yang mengenai panel surya terlihat pada Tabel 6. Pengambilan data dilakukan dalam satuan detik pada sumbu x.

Tabel 6. hasil monitoring rangkaian HC berbagai metode.

Pola Bayangan (Shadow)	Voc (V)	Isc (A)	Energi yang dihasilkan (W)	Temperatur (C)	Humidity (RH)
Unifrom	63.22	0.31	19.5	40	15
Simetris	61.8	0.207	12.79	40	15
Corner	62.8	0.218	13.69	40	15
Long and wide	62.01	0.21	13.02	40	15

Konfigurasi Total Cross Tied

Menggunakan sistem monitoring terlihat titik puncak Voc atau nilai tegangan maksimum terbuka bernilai 65.89 V dan nilai maksimum Isc bernilai 0.336 A dengan cahaya maksimal sebesar 2500 lux. Nilai suhu sebesar 40 °C dan kelembapan sebesar 25 RH. Daya maksimum dari rangkaian ini diperoleh sebesar 22.1 W, terlihat seperti Gambar 17.



Gambar 17. Hasil Monitoring untuk konfigurasi TCT

Berikut hasil monitoring dari berbagai metoda yang telah dilakukan dengan mengatur pencahayaan yang mengenai panel surya terlihat pada Tabel 7. Pengambilan data dilakukan dalam satuan detik pada sumbu x.

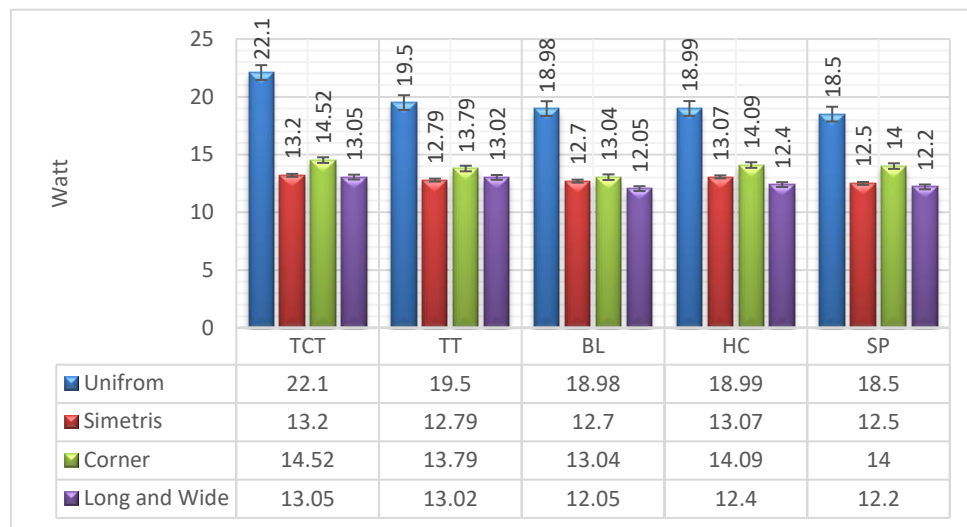
Tabel 7. hasil monitoring rangkaian HC berbagai metode.

Pola Bayangan (Shadow)	Voc (V)	Isc (A)	Energi yang dihasilkan (W)	Temperatur (C)	Humidity (RH)
Unifrom	65.89	0.336	22.1	40	25
Simetris	62.47	0.209	13,2	40	25
Corner	63.11	0.23	14.52	40	25
Long and wide	61.23	0.213	13.05	40	25

Perbedaan Daya dari Berbagai Konfigurasi

Dari percobaan ini dapat diperoleh perbandingan dari beberapa konfigurasi yang telah dilakukan TCT menghasilkan daya paling tinggi ketika tidak terjadi bayangan parsial atau pada dalam kondisi *Unifrom*, diiringi konfigurasi TT, HC, BL, dan paling terendah yaitu SP pada kondisi *unifrom*. Daya yang dihasilkan paling rendah pada masing-masing bayangan

parsial yaitu pada kondisi *simetris* yang dimana daya tertinggi diperoleh pada konfigurasi BL dan yang terendah pada kondisi SP seperti pada Gambar 18.



Gambar 18. Daya maksimum pada kondisi bayangan parsial

SIMPULAN DAN SARAN

Salah satu fungsi konfigurasi rangkaian pemasangan panel surya adalah untuk meningkatkan produksi energi listrik yang dihasilkan. Dari hasil pengujian dapat dilihat pengaruh bayangan dengan berbagai tingkat radiasi terhadap konfigurasi rangkaian pemasangan panel surya. Dari hasil pengujian maka konfigurasi TCT menghasilkan energi listrik lebih besar dari pada konfigurasi lainnya. Dengan demikian dapat disimpulkan bahwa konfigurasi TCT dapat menghasilkan energi yang lebih besar baik pada kondisi uniform ataupun pada saat terjadi naungan parsial. Untuk mendapatkan hasil yang lebih baik, pada penelitian berikutnya dilakukan pengujian yang berbeda dengan kombinasi rangkaian yang juga berbeda.

DAFTAR RUJUKAN

- [1] H. Hazman and A. Asnil, "Measurement of I-V and P-V Characteristics of Solar Panels Under Partial Shading Conditions," *Motiv. J. Mech. Electr. Ind. Eng.*, vol. 4, no. 2, pp. 99–114, 2022, doi: 10.46574/motivection.v4i2.116.
- [2] H. Suryawinata, D. Purwanti, and S. Sunardiyo, "Sistem Monitoring Pada Panel Surya Menggunakan Data Logger Berbasis Atmega 328 Dan Real Time Clock DS1307," *J. Tek. Elektro*, vol. 9, no. 1, pp. 30–36, 2017.
- [3] R. N. Raghavan, "Improving performance of photovoltaic panel by reconfigurability in partial shading condition," no. February, 2020, doi: 10.1117/1.JPE.10.042004.
- [4] 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.
- [5] 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.
- [6] 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.
- [7] 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.
- [8] P. Makhija, “Performance analysis of solar MPPT techniques under partial shading condition,” vol. 9, no. 08, pp. 408–413, 2020.
- [9] 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.
- [10] 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.
- [11] 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.
- [12] D. P. Kothari, “COMPARATIVE STUDY OF DIFFERENT SOLAR PHOTOVOLTAIC ARRAYS CONFIGURATION TO MITIGATE NEGATIVE IMPACT OF PARTIAL SHADING CONDITIONS Director Research , SB Jain Institute of Technology , Management and Department of Electrical and Electronics Engineering , Un,” no. 2, pp. 102–111, 2021.
- [13] 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.
- [14] R. N. Huda, “Desain dan Simulasi Non-Inverting Buck-Boost Konverter MSI Transaction on Education tipe buck-boost konverter dengan tegangan keluaran variabel . Tegangan Output yang NON-INVERTING BUCK-BOOST KONVERTER switch semikonduktor (mosfet / igbt / transistor) u,” vol. 03, no. 04, 2022.
- [15] E. A. Wibowo, “Desain Buck Converter Sebagai Charging Baterai Pada Sistem PLTS MSI Transaction on Education,” vol. 03, no. 04, 2022.

Halaman ini sengaja dikosongkan