

# PERANCANGAN *PROTOTIPE* PEMBANGKIT *PHOTOVOLTAIC* 9X10 WP BERBASIS *CLUSTER STRING* MENGGUNAKAN ALGORITMA *SMART CONTROLLER*

Rangga Gilang Nuansa<sup>1)</sup>, Antonius Rajagukguk<sup>2)</sup>

<sup>1)</sup>Mahasiswa Program Studi Teknik Elektro S1, <sup>2)</sup>Dosen Teknik Elektro  
Program Studi Teknik Elektro S1, Fakultas Teknik Universitas Riau

Kampus Bina Widya Jl. HR. Soebrantas Km. 12,5 Simpang Baru, Panam, Pekanbaru 28293

E-mail : [rangga.gilangnuansa@student.unri.ac.id](mailto:rangga.gilangnuansa@student.unri.ac.id)

## ABSTRACT

*There are several problems that can interfere photovoltaic performance in large scale. Shading effect on PV arrays causes reduced absorption of solar radiation and increased temperature on modules of PV arrays. The reduced absorption of solar radiation results decreaseing voltage on PV String and disrupts performance of PV array system. This study designs a small miniature of capacity PV farm consists of 10 wattpeak PV from 9 modules that arranged into 3 strings erach string consists of 3 PV modules. This study uses a series of bypass diodes and Blocking diodes. Using this bypass diode causes voltage among PV modules to be different while using Blocking diode causes the voltage among PV strings to be different. The aim of research is to increase power generated by PV farm circuit by Clustering the String PV farm area that is covered by shadows. This Clustering is based on classification of voltage readings on each PV farm String. Voltage in Cluster1 is 42V to 58V. While voltage in cluster2 is 21V to 41V and 9v in cluster3 From simulation combination of Shading 220, Shading 210 Shading 100 Shading 011 are 11.1%, 22.2%, 33.3% and 44.4%.respectively using dummy load in process sensing voltage on String is to ensure that electric current flows in a closed circuit so that bypass diode can work when one module is shaded. The results of this study indicate that using Cluster Method Combination can improve the harvesting of power in photovoltaics under shadow. It can be concluded that using Cluster string method can increase power up to 70%.*

*Keywords: Shading , voltage, photovoltaic, clustering, dummy load, PV farm*

## I. PENDAHULUAN

Penggunaan tenaga listrik menjadi salah satu kebutuhan mendasar di kehidupan sehari-hari. Terbatasnya sumber daya energi fosil di masa mendatang sebagai sumber energi pembangkitan tenaga listrik dan pengaruhnya terhadap pencemaran lingkungan menjadikan alasan peralihan terhadap energi terbarukan. Energi matahari yang digunakan dalam sistem *Photovoltaic* (PV) dapat menjadi pilihan untuk sumber pembangkitan listrik energi terbarukan. Terdapat beberapa masalah yang dapat mengganggu kinerja PV skala besar. Salah satu permasalahan yang mempengaruhi kinerja PV adalah bayangan (*Shading*) yang dapat menutupi modul PV sehingga mengganggu kinerja PV. Akibat dari hal tersebut terjadi penurunan arus sehingga mengurangi daya keluaran dari sistem PV.

Salah satu permasalahan yang mempengaruhi kinerja PV adalah bayangan (*Shadin*) yang dapat menutupi modul PV sehingga mengganggu kinerja PV. Akibat dari hal tersebut terjadi penurunan arus sehingga mengurangi daya keluaran dari sistem PV. Pencegahan kerusakan modul-modul PV akibat *Shading* dapat dilakukan dengan pemasangan dioda *bypass* dan dioda *blocking* (Koizumi, 2015).

Penggunaan diode *bypass* ini mengakibatkan besar tegangan antar-modul PV menjadi berbeda-beda, sesuai jumlah modul yang mendapat *Shading* pada penentuan titik *Maximum Power Point* (MPP). Untuk itu diusulkan suatu metode pengelompokan besar tegangan yang

bersesuaian dari setiap keluaran hasil mekanisme MPPT, dimana setiap keluaran MPPT terhubung secara paralel pada rangkaian matrik saklar (Ahmadi et al. 2011).

## II. LANDASAN TEORI

### 2.1 *Photovoltaic* (PV)

*Photovoltaic* (PV) merupakan suatu sistem atau cara mengubah secara langsung energi matahari menjadi energi listrik yang menggunakan bahan semikonduktor. Bahan semikonduktor tersebut terdiri dari dua lapisan (sisi-*p* dan sisi-*n*) yang menyusun sebuah sel PV. Adapun prinsip kerja PV terjadi ketika cahaya memasuki sel PV, beberapa foton dari cahaya diserap oleh atom semikonduktor, sehingga membebaskan elektron dari sisi-*n* untuk mengalir melalui sirkuit eksternal dan kembali ke sisi-*p*. Terjadinya aliran elektron ini yang menghasilkan arus listrik (Bhatia, 2014).

Sejumlah sel PV yang saling dihubungkan dalam suatu paket yang tertutup rapat dan tahan cuaca yang disebut modul PV. Ketika beberapa modul dihubungkan secara seri, tegangannya berlipat ganda sementara arus tetap konstan. Sedangkan ketika beberapa modul dihubungkan secara paralel, arusnya berlipat ganda sedangkan tegangannya tetap konstan. Untuk mencapai tegangan dan arus yang diinginkan, modul dihubungkan secara seri yang menjadi *string* dan *string* disusun secara paralel sehingga membentuk PV *array*. Fleksibilitas sistem penyusunan PV dirancang berdasarkan besar kebutuhan daya keluarannya (Bhatia, 2014).

## 2.2 Shading (bayangan) pada Photovoltaic

Pembangkit PV skala besar membutuhkan modul PV dalam jumlah yang banyak, dimana modul tersebut dapat disusun dalam rangkaian seri maupun paralel. Penyusunan modul membentuk rangkaian seri maupun paralel disesuaikan dengan kebutuhan tegangan, arus maupun daya yang dibutuhkan. Namun, susunan modul PV secara seri pada *string* berpotensi mengakibatkan perbedaan tegangan. Perbedaan tegangan antar *string* pada PV *array* disebabkan oleh tidak seragamnya radiasi pada modul-modul PV tersebut. Tidak seragamnya radiasi tersebut disebabkan oleh beberapa modul PV mendapat bayangan (*Shading*) (Rajagukguk, 2017).

Efek *Shading* pada PV *array* menyebabkan berkurangnya penyerapan radiasi matahari dan meningkatnya suhu pada modul-modul pada PV *array*. Berkurangnya penyerapan radiasi matahari mengakibatkan menurunnya tegangan pada PV *string* dan mengganggu kinerja sistem PV *array*. Modul PV yang tidak mendapat radiasi tidak seragam tersebut menjadi beban pada modul PV yang bekerja secara normal. Modul PV yang menjadi beban tersebut akan membuang daya yang dihasilkan melalui panas dan menyebabkan modul PV rusak jika dipaksa bekerja secara terus menerus (Sun, 2013).

## 2.3 Smart Cluster Berbasis Tegangan String

*Smart Cluster* berbasis tegangan *String* merupakan inovasi baru dalam pemanenan daya pada sistem PV *farm*. Metode ini sedang dikembangkan sebagai pendekatan baru untuk mengekstrak daya keluaran dari PV *farm* menjadi lebih efisien. Metode ini dikembangkan berdasarkan kurva karakteristik P-V pada PV *farm* dengan single konverter jika salah satu atau beberapa modul *photovoltaic* dalam satu sistem tertutup bayangan. Kejadian ini menyebabkan efek *photocurrent* pada modul tersebut lebih kecil dibandingkan modul dalam *String* sehingga ter-*bypass* oleh *bypass diode* sebagai bentuk proteksi. (Priananda, 2017)

Peluang sebuah area PV *farm* yang luas untuk tertutup bayangan sebagian areanya sangat besar. Penggunaan *bypass diode* sebagai proteksi untuk modul yang tertutup bayangan akan membawa dampak ketidakseragaman tegangan pada setiap *String* dalam PV *farm*. Ketidakseragaman tegangan ini akan menyebabkan munculnya kurva karakteristik dengan beberapa titik MPP. Hipotesis yang diajukan adalah pengelompokan ketidakseragaman tegangan *String* ini menjadi beberapa *Cluster* sesuai dengan level tegangan yang terbentuk. (Priananda, 2017)

## 2.4 Sensor Tegangan dan Dummy Load

Sensor tegangan dengan *dummy load* merupakan rangkaian yang utama dalam proses *Clustering* PV *Farm*. Penggunaan *dummy load* dalam proses sensing tegangan pada *String* adalah untuk memastikan arus listrik tetap mengalir dalam rangkaian tertutup sehingga *bypass diode* bisa bekerja ketika salah satu modul mengalami *shaded*. (Priananda, 2017)

## 2.5 Combiner

Rangkaian *Combiner* adalah rangkaian pengombinasi output dari masing-masing *String* menuju 3 buah *Cluster*. Rangkaian *Combiner* merupakan matriks relay sebagai saklar magnetis yang mendapat sinyal instruksi dari mikrokontroler setelah memproses algoritma *Smart Cluster* dari pembacaan tegangan *String*. (Priananda, 2017)

## 2.6 Modul Relai

Relai adalah saklar yang dioperasikan secara elektrik. Relai di pakai ketika sinyal berdaya rendah digunakan untuk mengontrol sebuah rangkain (isolasi elektrik penuh terjadi antara rangkain pengontrol dan rangkain yang di kontrol) atau ketika beberapa sirkuit harus di control oleh satu sinyal. (Fahmi, 2018).

Sebuah relai elektromagnetik sederhana terdiri dari kumparan kawat yang membungkus sebuah inti besi, sebuah kuk besi untuk menahan alur flux magnetic, sebuah angker (jangkar) besi yang dapat bergerak dan satu set atau lebih kontak. angker tergantung pada kuk dan terhubung secara mekanik dengan kontak yang bergerak. Angker di tahan oleh pegas, sehingga ketika relai di putus ada celah udara dalam rangkaian magnetic (Fahmi, 2018).

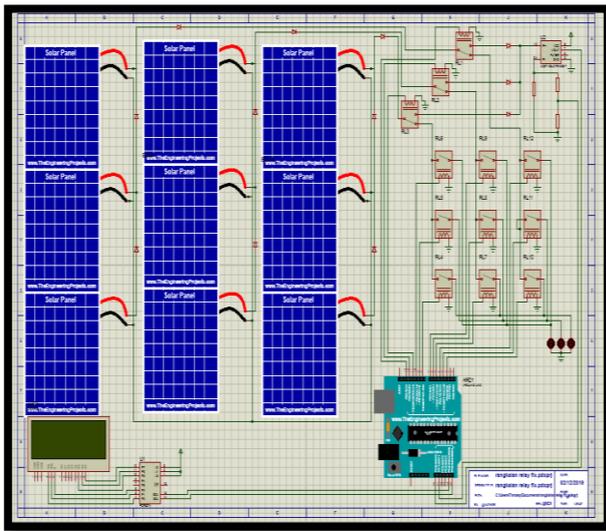
Ketika arus listrik dilewatkan melalui kumparan maka akan di hasilkan medan elektromagnetik yang mengaktifkan angker, dan akibat dari Bergeraknya kontak yang bergerak membuat terjadinya penyambungan atau pemutusan (bergantung pada kontruksi) dengan kontak yang diam. Ketika arus ke koil diputuskan, angker dikembalikan dengan paksa diposisi awal, biasanya hal ini dilakukan oleh pegas, tetapi gaya grafitasi juga sering di gunakan, umumnya pada starter motor industry, pada umumnya relai di produksi agar beroperasi dengan cepat. Pada aplikasi bertegangan rendah hal ni bertujuan untuk mengurangi kebisingan sedangkan pada aplikasi bertegangan tinggi untuk mengurangi terjadinya percikan api (Fahmi, 2018).

## 2.7 Arduino Uno

Arduino adalah pengendali mikro yang bersifat *open-source*, dirancang untuk memudahkan pengguna dalam berbagai bidang elektronika. *Hardware* arduino menggunakan Atmel AVR dan *software* arduino menggunakan bahasa pemrograman C. Dari segi daya, Arduino Uno membutuhkan tegangan aktif sekitar 5 volt, sehingga dapat diaktifkan melalui koneksi USB. Untuk Digital I/O terdiri dari 14 kaki (kaki 0 sampai kaki 13), dengan 6 kaki (3, 5, 6, 9, 10, dan 11) mampu memberikan output PWM (*Pulse Width Modulation*) (Firman Fahmi, 2018).

### III. METODE PENELITIAN

#### 3.1 Konfigurasi Sistem Penelitian



Gambar 1. Konfigurasi Sistem

Pada rangkaian Smart Cluster terdapat 9 PV dengan 3 PV setiap Stringnya, dan pada rangkaian in terdapat satu sensor tegangan dan satu sensor arus berguna untuk mensensing 3 String PV. Arduino memiliki 14 outpout digital dan 12 output digital arduino di gunakan untuk mengendalikan saklar, diantaranya 9 output digital digunakan untuk mengendalikan Combiner dan 3 outputnya digunakan untuk mengendalikan rangkaian sensing tegangan dan arus String. Sebuah Combiner merupakan Matriks relay yang memiliki 3 buah input, yang mewakili jumlah String pada PV array dan 3 buah output yang menjadi masukan untuk 3 buah Cluster.

#### 3.2 Dioda Bypass dan Dioda Blocking

Pencegahan kerusakan modul-modul PV akibat *Shading* dapat dilakukan dengan pemasangan dioda *bypass* dan dioda *blocking*. Pada tiap modul PV, dilakukan pemasangan secara paralel dioda *bypass*. Pemasangan dioda *bypass* digunakan untuk melewati arus yang dihasilkan oleh modul PV yang tidak bekerja normal akibat *Shading*. Sedangkan pada kasus *string*, digunakan dioda *blocking* yang dipasang secara seri dengan *string*. Hal tersebut dilakukan untuk memblokir tegangan yang dihasilkan *string* yang bekerja tidak normal akibat *Shading* (Koizumi, 2015).

#### 3.3 Penentuan Dummy Load

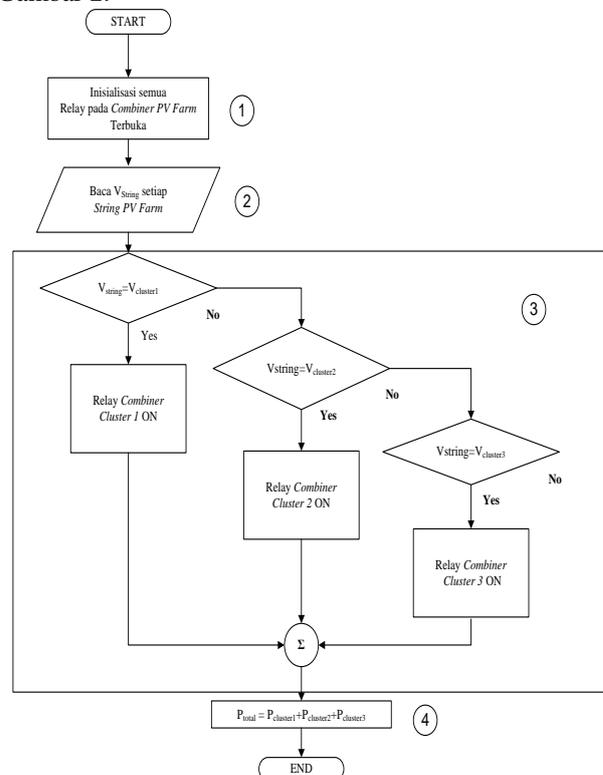
Penempatan dan besar resistansi beban beban sesaat merupakan suatu hal penting dilakukannya pada suatu PV Farm Penelitian ini, dimana penempatan dan besar resistansi penting dalam proses pengukuran besar tegangan dan arus masing-masing *String* dalam kondisi normal. Proses pengukuran tegangan dan arus tersebut dilakukan dengan menggunakan peralatan instrumentasi pengukur tegangan (sensor), dimana proses tersebut pada penelitian ini dilakukan dengan memanfaatkan tegangan sesaat yang terjadi pada beban sesaat. Beban sesaat ditempatkan sebanyak 1 unit untuk melayani seluruh

*String* yang ada, sehingga proses pengukuran dilakukan secara berurutan. Beban sesaat terhubung paralel dengan rangkaian saklar dummy, dengan bantuan saklar dummy tersebut proses pengukuran tegangan dan arus dari masing-masing *String* PV Farm dapat dilakukan. Besar tegangan yang terjadi pada beban sesaat sama besarnya dengan tegangan dan arus *String* PV yang sedang terhubung ke rangkaian beban sesaat. Dengan mekanisme tersebut maka pengaruh *String* PV saat tertutup bayangan *String* dapat terukur. Perubahan besar tegangan dan arus, hasil pengukuran oleh sensor mempresentasikan kondisi *String* sesungguhnya. Hasil pembacaan sensor tegangan tersebut, selanjutnya besar pengukuran tegangan dan arus juga dikirim ke Arduino untuk disimpan, diolah, dan dijadikan dasar pembangkitan sinyal kendali on/off saklar-saklar pada rangkaian matriks saklar penempatan posisi *Cluster* (Priandana, 2017)

Untuk dapat menentukan besar resistansi beban sesaat yang tepat, maka terlebih dahulu harus mengetahui besar tahanan dalam dari modul PV yang digunakan. Berdasarkan tahanan dalam modul tersebut, maka dapat ditentukan besar tahanan dari *String* PV, dimana besar tahanan dalam *String* PV, sama dengan besar resistansi tahanan beban sesaat yang digunakan (Priandana, 2017)

#### 3.4 Mekanisme Cluster berbasis tegangan String PV

Desain Algoritma *Smart Clustering* PV Farm mengacu pada hipotesis penelitian sebelumnya dan studi. Pada referensi tersebut menjelaskan bahwa dengan menggunakan sistem klasifikasi pada PV Farm akan membuat daya yang bisa dipanen lebih besar. Adapun *flowchart* dari algoritma *Smart Cluster* dapat dilihat pada Gambar 2.



Gambar 2. flowchart algoritma Smart Cluster

Gambar 2. Merupakan *flow chart* algoritma *Smart Cluster* yang dapat di jelaskan bahwa pada:

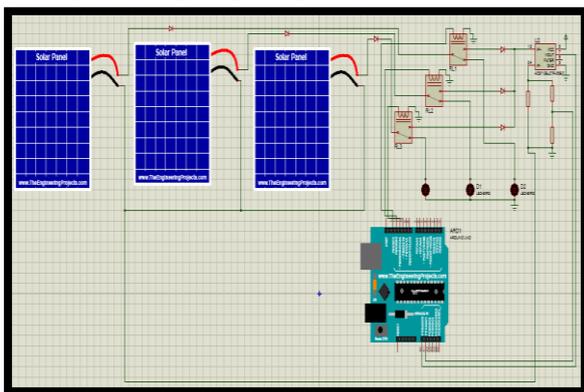
1. Memastikan semua saklar matrik dalam keadaan terbuka.
2. Pembacaan tegangan setiap *String* secara berurutan pada *Pv farm* menggunakan algoritma sistem sensing berbasis *smart control*.
3. Penentuan dan mengelompokkan *String-String* yang tegangan bersesuaian menggunakan algoritma sistem *Cluster* berbasis *smart control*.
4. Penghitungan daya dari hasil pengelompokan *string-string* yang tegangan bersesuaian

Pada algoritma *Smart Cluster*  $V_{Cluster1}$  memiliki batas *Cluster* diantara 42 volt sampai dengan 66 volt,  $V_{Cluster2}$  memiliki batas *Cluster* diantara 20 volt sampai dengan 41 volt, sedangkan  $V_{Cluster3}$  memiliki batas *Cluster* diantara 0 volt sampai dengan 19 volt. Pemilihan 3 *Cluster* ini adalah permasalahan untuk memisahkan level tegangan keluaran menjadi 3 level.

### 3.4.1 Mekanisme System Sensing berbasis smart control

Mekanisme system sensing yang merupakan rangkaian matrik sensor yang berfungsi sebagai penghubung antara rangkaian *String* PV dengan rangkaian sensor. Rangkaian ini memindahkan sekaligus juga memutuskan aliran listrik yang akan menuju *Cluster* untuk di sensor pada rangkaian sensor. *Arduino* akan mengaktifkan relay pada rangkaian matrik sensor secara bergantian dan dalam kurun waktu tertentu (Priananda, 2017)

Pada matrik sensor *Arduino* akan memerintahkan relay matrik sensor untuk hidup dan mati secara bergantian dalam kurun waktu yang di tentukan. Hasil pembacaan sensor akan di olah di *arduino* untuk mentnukan *Cluster* yang cocok. Rangkaian matrik sensor ini ditunjukkan seperti pada gambar 3.



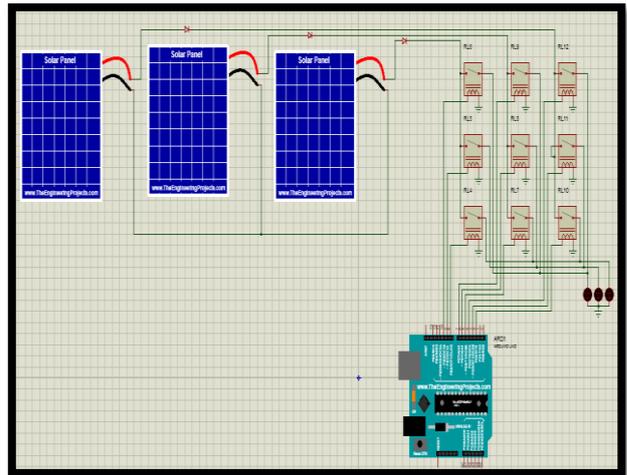
Gambar 3. Rangkaian matrik sensor

### 3.4.2 Mekanisme system Cluster berbasis smart control

Mekanisme system *Cluster* yang merupakan matrik combiner adalah rangkaian yang berfungsi sebagai penghubung antara rangkaian *String* PV dengan rangkaian matrik combiner . Rangkaian ini memindahkan sekaligus juga memutuskan aliran listrik yang akan menuju *Cluster*

yang mendapat instuksi dari *arduino* yang telah mengolah data hasil penyensoran dengan Algoritma *Smart Controller*. *arduino* akan menggerakkan saklar relay pada rangkaian matrik combiner untuk menuju *Cluster* yang telah di tentukan (Priananda, 2017)

Pada system *Cluster* jika  $V_{String}$  sebesar 42 volt sampai dengan 60 volt maka relay combiner 1 on dan akan masuk ke *Cluster* 1,  $V_{String}$  sebesar 20 volt sampai dengan 41 volt maka relay combiner 2 on dan akan masuk ke *Cluster* 2,  $V_{String}$  sebesar 0 volt sampai dengan 19volt maka relay combiner 3 on dan akan masuk ke *Cluster* 3. Rangkaian matrik combiner ini ditunjukkan seperti pada gambar 4 berikut.



Gambar 4. Rangkaian matrik Cluster

### 3.5 Penentuan Daya Pembangkit PV Terbayang Sebagian.

Besar daya yang dihasilkan oleh suatu pembangkit PV sangat tergantung pada besarnya radiasi matahari yang mengenai permukaan modul PV. Namun untuk pembangkit PV dengan skala besar *Farm*, dimana modul modul PV terhubung secara kombinasi seri/paralel, selaian radiasi matahari, faktor sebagian modul terbayang memiliki peran sangat penting. Hal tersebut dikarenakan efek modul terbayang awan dapat mengakibatkan system pembangkit PV *Farm* mengalami *Blac Out*. Namun hal tersebut dapat dihindari jika sistem pembangkit tersebut dilengkapi dengan system kendali. System kendali tersebut bekerja dengan menggunakan mekanisme kelompok melalui rekayasa konfigurasi *String* PV. Untuk itu pada bahasan ini akan diperlihatkan perbandingan daya pembangkit PV yang dilengkapi dengan system kendali dan tanpa menggunakan system.

#### 3.5.1 Daya PV Saat Nomal Tanpa Pengelompokan.

Pada Gambar 5.a, dibawah ini merupakan rangkaian pembangkit PV terhubung kombinasi seri/paralel, dimana seluruh modul dalam kondisi normal. Pada Gambar 5.b, adalah kurva karakteristik P-V dari pembangkit PV dalam kondisi normal. Berdasarkan pengujian yang dilakukan pada pembangkit PV dalam kondisi normal tanpa menggunakan rangkaian kendali, dimana setiap modul PV diberikan radiasi matahari sebesar 1000 W/m<sup>2</sup>. Pada pengujian tersebut diperoleh

besar daya yang dihasilkan pembangkit PV adalah 90 W p, dengan besar tegangan keluaran 52.08V

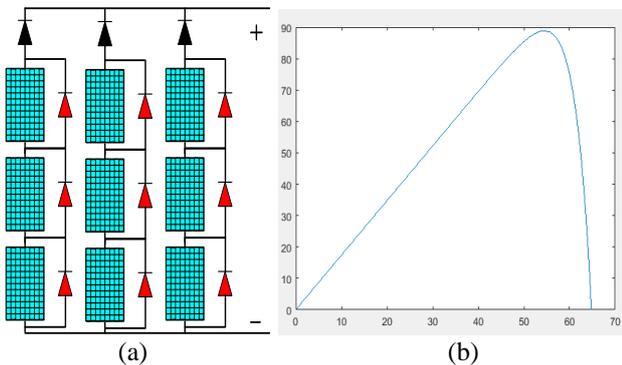
Besar daya dapat dihitung berdasarkan Pesamaan 1.

$$P_{in} = \sum_{i=1}^n V_{Si} \times I_{Si} \dots\dots\dots(1) \text{ (Prianda, 2017)}$$

$$= V_{S1} \times I_{S1} + V_{S2} \times I_{S2} \dots\dots\dots + V_{Sn} \times I_{Sn}$$

Dimana :

- $P_{in}$  = Daya Array
- $V_{S1}$  = Tegangan String
- $I_{Si}$  = Arus String



**Gambar 5** (a) Rangkaian PV Tanpa Kendali. (b). Kurva Karakteristik P-V.

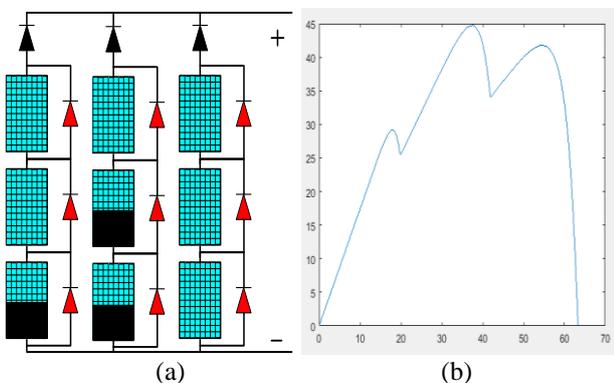
**3.5.2 Daya PV Terbayang Tanpa Pengelompokan**

Pada kasus pembangkit PV terhubung kombinasi seri/paralel tanpa rangkaian kendali pengelompokan dengan kondisi sebagian modul PV terbayang seperti terlihat Gambar 6.a.

Besar daya dapat dihitung berdasarkan persamaan 2.

$$P_{in} = \sum_{i=1}^n V_{Si} \times I_{Si} \dots\dots\dots(2) \text{ (Prianda, 2017)}$$

$$= V_{S1} \times I_{S1} + V_{S2} \times I_{S2} \dots\dots\dots + V_{Sn} \times I_{Sn}$$

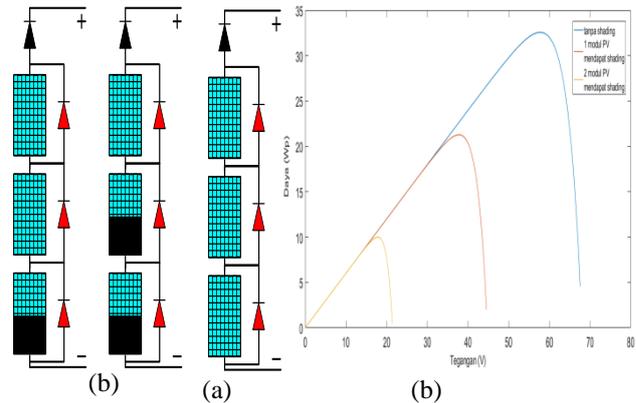


**Gambar 6** (a) Rangkaian PV Terbayang Tanpa Kendali. (b). Kurva Karakteristik P-V.

Berdasarkan pengujian untuk kondisi pembangkit PV tanpa rangkaian kendali kondisi terbayang , memperlihatkan besar daya yang dihasilkan adalah 45Wp, dengan tegangan 38 Volt. Besaran-besaran daya, tegangan dan tahanan beban hasil pengukuran tersebut dapat dilihat dari kurva karakteristik P-V pembangkit PV tanpa pengelompokan kondisi terbayang pada Gambar 6.b.

**3.5.3 Daya PV Terbayang Menggunakan Pengelompokan.**

Pada pembangkit PV yang dilengkapi dengan system pengelompokan untuk tanpa pengelompokan maupun menggunakan system pengelompokan pada kondisi normal maka besar daya, tegangan dan tahanan beban adalah sama besar.



**Gambar 7** (a). Rangkaian PV Cluster (b).Kurva Kharakteristik P-V Pembangkit PV Cluster.

Pada pembangkit PV yang dilengkapi system pengelompokan berdasarkan besar tegangan String PV yang bersesuaian (kelompok tegangan String PV melalui rekonfigurasi String PV), pada saat sebagian modul PV terbayang. Besar daya yang dihasilkan pembangkit PV adalah sama dengan jumlah daya yang dihasilkan masing-masing kelompok.

Adapun nilai daya total Cluster terlihat pada persamaan 3

$$P_{clustertotal} = \sum_{i=1}^n P_{cluster} \dots\dots\dots(3) \text{ (Prianda, 2017)}$$

$$= P_{cluster1} + P_{cluster2} + \dots\dots\dots + P_{cluster}$$

Untuk kasus pada pembahasan ini banyak kelompok kelompok dibagi menjadi tiga kelompok (Cluster). Cluster \_1 diperoleh daya sebesar 32.58 Wp, dengan tegangan 58.07 Volt. Sedangkan pada Cluster \_2 diperoleh daya sebesar 21.28 Wp, dengan tegangan 37.77 Volt. Dan Cluster \_3 diperoleh daya sebesar 9.996 Wp, dengan tegangan 17.58 Volt. Sehingga total daya dihasilkan oleh pembangkit PV yang dilengkapi system kendali sama dengan 32.58 Wp + 21.28 Wp + 9.996 Wp = 63.85 Wp. Untuk lebih jelasnya rangkaian dan, daya yang dihasilkan pembangkit PV yang dilengkapi system kendali dan kurva karakteristik P-V pembangkit PV tersebut dapat dilihat pada Gambar 7.a, dan Gambar 7.b. diatas. Dari simulai tersebut dapat disimpulkan bahwa pembangkit PV yang dilengkapi dengan system kendali berbasis kelompok berdasarkan tegangan yang

bersesuaian dapat meningkatkan daya keluaran sebesar 63.85 Wp 45 Wp = 18.85 Wp jika dibandingkan dengan daya yang dihasilkan oleh pembangkit tanpa menggunakan system kendali untuk kondisi sebagian modul pembangkit PV terbayang.

#### IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

Penelitian yang dilakukan melalui pengujian terhadap *prototype* dan simulasi pada keadaan tanpa *Shading* dan lima variasi kondisi *Shading*, yakni kondisi *Shading* 2 2 0, *Shading* 2 1 1, *Shading* 2 1 0, *Shading* 0 1 1 dan *Shading* 1 0 0.



Gambar 8. Prototype PV Array 9×10 Wp

Berdasarkan pengujian yang telah dilakukan pada *prototype* PV array 9×10 Wp dengan variasi kondisi *Shading* pada modul PV akan memberikan perbedaan keluaran tegangan dan arus yang menghasilkan daya yang berbeda seperti yang dapat dilihat pada tabel 1.

Tabel 1. Perbandingan Daya Keluaran Variasi *Shading* Prototype PV Array 9×10 Wp

	Daya (Wp)		
	Tanpa Cluster	Dengan Cluster	Peningkatan
Tanpa <i>Shading</i>	90	90	0
<i>Shading</i> 2 2 0	20.06	49.73	29.67
<i>Shading</i> 2 1 0	18.51	58.67	40.61
<i>Shading</i> 1 0 0	38.38	79.2	40.82
<i>Shading</i> 0 1 1	17.83	66	48.17

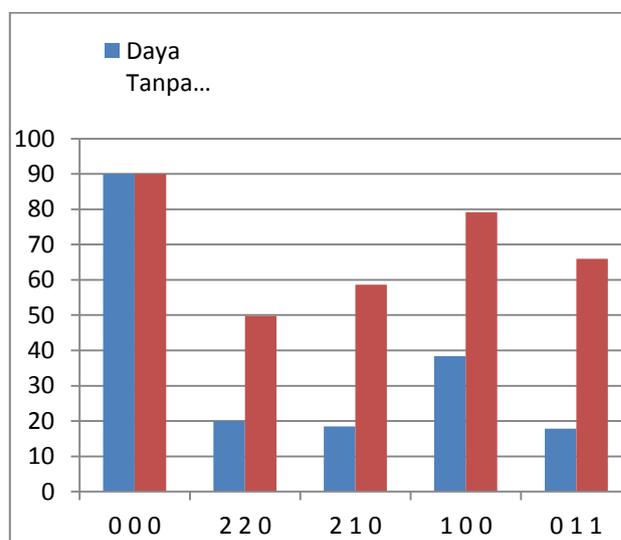
Dari Tabel 1. hasil pengujian yang dilakukan menunjukkan peningkatan daya pada kondisi *Shading* 2 2 0 sebesar 29.67 Watt, kondisi *Shading* 2 1 0 sebesar 40.61 Watt, kondisi *Shading* 1 0 0 sebesar 40.82 Watt dan pada kondisi *Shading* 0 1 1 sebesar 48.17 Watt.

Pengujian array PV 9×10 Wp dengan variasi *Shading* pada modul PV juga dilakukan melalui simulasi menghasilkan tegangan dan arus keluaran yang bervariasi sehingga menghasilkan daya yang berbeda seperti yang dapat terlihat pada tabel 2.

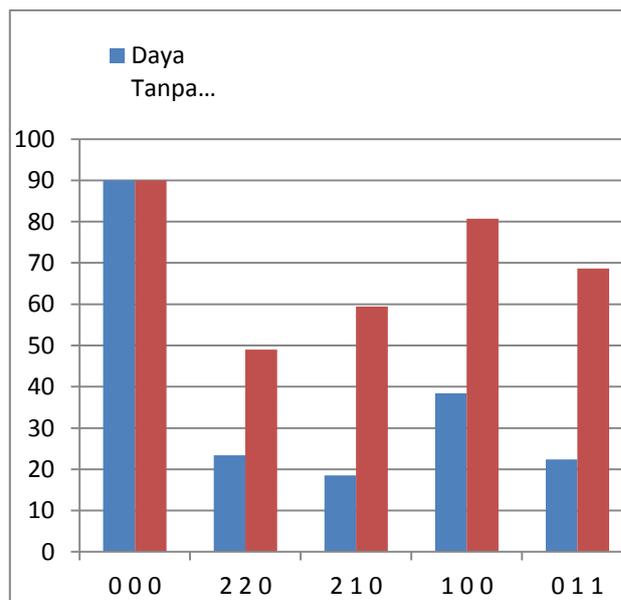
Tabel 2. Perbandingan Daya Keluaran Variasi *Shading* Simulasi PV Array 9×10 Wp

	Daya (Wp)		
	Tanpa Cluster	Dengan Cluster	Peningkatan
Tanpa <i>Shading</i>	90	90	0
<i>Shading</i> 2 2 0	23,38	49.03	25.65
<i>Shading</i> 2 1 0	18.51	59,47	40.96
<i>Shading</i> 1 0 0	38.38	80.75	42.37
<i>Shading</i> 0 1 1	22,4	68.65	46.25

Dari Tabel 2. hasil simulasi yang dilakukan menunjukkan peningkatan daya pada kondisi *Shading* 2 2 0 sebesar 25.65 Watt, kondisi *Shading* 2 1 0 sebesar 40.96 Watt, kondisi *Shading* 1 0 0 sebesar 42.37 Watt dan pada kondisi *Shading* 0 1 1 sebesar 46.25 Watt.



Gambar 9. Grafik Prototype Perbedaan Daya Tanpa Cluster Dan Daya Dengan Cluster



Gambar 10. Grafik Prototype Perbedaan Daya Tanpa Cluster Dan Daya Dengan Cluster

Gambar 9 dan Gambar 10 menunjukkan grafik perbedaan daya photovoltaic array sebelum di Cluster dan setelah di Cluster menggunakan prototype dan simulasi. Peningkatan daya yang dihasilkan PV Farm berdasarkan prototipe bervariasi dari 52 % sampai dengan 73%, sementara dengan menggunakan simulasi peningkatan daya yang terjadi bervariasi dari 52 % sampai 59 %

## V. KESIMPULAN

1. Penggunaan dioda *bypass* dan dioda *blocking* terbukti mampu melakukan *bypass* modul PV pada *String* PV dan *blocking* PV *String* pada PV array saat mendapat efek *partial Shading*. Efek dari *bypass* oleh dioda berdampak pada besar tegangan di PV *String* yang menjadi berkurang sebesar tegangan modul PV yang mendapat *bypass*. Demikian juga hal pada kasus penggunaan dioda *blocking* berdampak pengurangan arus pada PV array akibat PV *String* yang mendapat *blocking*.
2. Secara ideal jumlah *Cluster* yang terbentuk adalah sejumlah dengan banyaknya modul pada satu *String*, hal ini bertujuan supaya area pencarian nilai daya optimal pada *Cluster* yang terbentuk menjadi *uniform* dengan hanya satu buah nilai *Global MPP*.
3. Dari hasil pengujian yang dilakukan didapat perbedaan daya antara *Photovoltaic Array* Kondisi *Shading* Tanpa *Cluster* dan Pengujian *Photovoltaic Array* Kondisi *Shading* dengan *Cluster*.
4. *Photovoltaic Array* dengan *Cluster* dapat meningkat daya yang signifikan sebesar 70 % di banding dengan *Photovoltaic Array* tanpa *Cluster*.

## DAFTAR PUSTAKA

- Antonious, R., Ashari, M., & Riawan, Dedet C. (2014). *Maximum power point control for standalone PV system using fuzzy sliding mode control*. IEEE Transaction on International Conference (ICITACEE).
- Logeswaran, T., & Kumar, A. (2014). *A Review of Maximum Power Point Tracking Algorithms for PV Systems under Uniform and Non-Uniform irradiances*. Energy Procedia 54.
- Antonius, R., Ashari, M., & Riawan, Dedet C. (2015). *Optimization of Photovoltaic Farm under Partial Shading Effects using Artificial Intelligent Based Matrix Switch Controller*. IEEE Transaction on International Conference (ICITACEE).
- Cui, Y., Yao, W., & Luo, J. (2012). *A Research and Improvement on a Maximum Power Point Tracking Method for PV System under Partially Shaded Conditions*. International Workshop
- X.-S. Yang, *Nature-Inspired Metaheuristic Algorithm*, Beckington, U.K.: Luniver Press, 2008.
- Seodiby. Ciptian Wieried Priananda, *Maximum Power Point Tracker Photovoltaic using Modified Bisection Method*, ICITACEE 2014.
- Chun, Seunghyun Ph. D, 2011. *Analysis of Classical Root-Finding Methods Applied to Digital Maximum Power Point Tracking for Photovoltaic Energy*

*Generation*. The University of Texas: Austin USA

Ciptian Wieried Priananda, 2017 *Desain Model Mppt Baru Pada Topologi PV Farm Berbasis Cluster Yang Tertutup Bayangan Sebagian*, ITS.

Koizumi, K. K. (2015). *A Study on Effect of Blocking and Bypass Diodes on Partial Shaded PV String with Compensating Circuit Using Voltage Equalizer*. IEEE, 241-244.

Yunlin Sun, X. L. (2013). *Analysis on the Effect of Shading on the Characteristics of Large-Scale On-Grid PV System in China*. *Energy and Power Engineering*, 215-218.