

# **PERANCANGAN BOOST KONVERTER PADA SISTEM MICROGRID BERSUMBER SOLAR SEL**

**Ihsan Ismail<sup>1)</sup>, Azriyenni Azhari Zakri<sup>2)</sup>**

<sup>1)</sup>Mahasiswa Program Studi,<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 : [ihsan.ismail@student.unri.ac.id](mailto:ihsan.ismail@student.unri.ac.id)

## **ABSTRACT**

*Solar cells as one of the new renewable energy sources have an important role in terms of meeting the needs of energy. For this reason, solar cells are employed as an alternative source of electricity generation, both in an off-grid or on-grid state. In this papers presents a step-by-step simulation of a three-phase circuit connected to a network with a solar cell source. The capacity of the solar cell to be simulated is 100 kWp. In this study, solar cells as an alternative generator that will generate three-phase AC loads. This requires a DC-DC boost converter to increase the output voltage of the solar cell and keep the voltage stable during the generation process by tracking the maximum power point using MPPT to extract the maximum power obtained from solar irradiation and channel it to the network. In systems based on solar cells, the inverter is a very critical component for controlling the flow of electricity by converting DC voltage to AC voltage and a grid load of 20 kV. In this case the distribution transformer load is 20 kV. Based on the simulation results with different levels of solar irradiation the voltage obtained is 19,473 V, then the expected voltage to generate a three-phase AC load that is the distribution load of the 20 kV transformer is reached. Simulation models are proposed in Matlab / Simulink 2016a*

*Keywords: Solar Cells, Maximum Power Point Tracking, DC-DC Boost Converter, Grid*

## **I. PENDAHULUAN**

Sumber energi baru dan yang terbarukan akan semakin mempunyai peran yang sangat penting dalam memenuhi kebutuhan energi. Hal ini disebabkan oleh penggunaan bahan bakar fosil untuk pembangkit-pembangkit listrik konvensional dalam jangka waktu yang panjang akan menguras sumber minyak bumi, gas dan batu bara yang cadangannya semakin lama semakin menipis (Anwar Ilmar Ramadhan, 2016). Permintaan energi meningkat dari hari ke hari karena peningkatan populasi, urbanisasi, dan industrialisasi. Sumber daya energi seperti sinar matahari merupakan salah satu sumber energi yang menjadi semakin populer terutama karena

mereka tidak menghasilkan emisi dan tidak ada habisnya (Abdalla Y.Mohammed, 2017).

Sinar matahari dapat dirubah menjadi energi listrik dengan menggunakan panel surya atau biasa disebut dengan *Photovoltaic* (PV). PV merupakan metode pembangkitan tenaga listrik dengan memanfaatkan radiasi matahari menjadi listrik arus searah (DC). Sistem solar PV ada yang *stand-alone* ada yang *on-grid*. Pada artikel ini menggunakan sistem PV *on-grid*, karena sistem *on-grid* merupakan system PV yang terhubung pada grid. Solar PV atau yang banyak disebut panel surya merupakan susunan dari sejumlah sel surya / *solar cell* yang mengandung material *photovoltaic*. Sementara tegangan *output* yang dihasilkan oleh sel surya tidak

konstan, tetapi itu tergantung pada kondisi alam yang sewaktu-waktu memvariasikan intensitas sinar matahari, sehingga tegangan *output* sel surya juga tidak konstan dan bervariasi sepanjang siang hari. Pada artikel ini membahas untuk cara mengatasi masalah tegangan yang tidak konstan yang dihasilkan sel surya dapat digunakan prototipe *DC to DC* konverter menggunakan teknologi *boost* konverter, yang secara otomatis menyesuaikan tegangan keluaran sesuai dengan tegangan yang diinginkan. *Boost konverter* digunakan untuk menjaga tegangan tetap selama proses penjejukan daya berlangsung. Algoritma MPPT P&O menghasilkan *duty-cycle*. *Duty Cycle* berfungsi sebagai pembangkit sinyal pengendali *switching* pada rangkaian *boost* konverter, untuk mendapatkan tegangan *output* yang diharapkan dari *DC-DC* Konverter berdasarkan tegangan *input*. *Duty cycle* membutuhkan sinyal kontrol *Pulse With Modulation* (PWM) sebagai sinyal pembawa.

## II. LANDASAN TEORI

### 2.1 *Distributed Generation* (DG)

DG adalah pembangkit listrik yang terpasang langsung pada sistem distribusi atau sisi pelanggan. Secara sederhana DG dapat diartikan sebagai pembangkit skala kecil. Terdapat banyak definisi DG menurut beberapa negara maupun organisasi internasional. *International Energy Agency* (IEA) mendefinisikan DG sebagai pembangkit listrik yang melayani pelanggan langsung atau terhubung dengan sistem distribusi pada level tegangan rendah. *Electric Power Research Institute* mendefinisikan DG sebagai pembangkit kecil dengan kapasitas sampai 50 KW

Konsep *distributed generation* (DG) muncul ketika konsep kelistrikan konvensional tidak efisien lagi. *Distributed generation* adalah pembangkit listrik dengan kapasitas kecil yang terpasang langsung pada sistem distribusi dengan level tegangan rendah. Umumnya DG

merupakan pembangkit yang memanfaatkan energi terbarukan seperti sinar matahari, angin, dan mikrohidro. Beberapa alasan yang mendasari tren penggunaan DG adalah kebutuhan pasar listrik, keterbatasan perkembangan jaringan transmisi dan distribusi, serta kebutuhan akan teknologi ramah lingkungan (T.Ackermann, 2000)

### 2.2 *Microgrid*

Jaringan listrik mikro adalah jaringan listrik dengan kapasitas pasokan daya yang relatif kecil, biasanya hanya 1 MW sehingga jaringan ini hanya bekerja pada tingkat distribusi tegangan menengah dan rendah. Jaringan ini terdiri dari beberapa pembangkit listrik lokal seperti Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS), Pembangkit Listrik Tenaga Bayu (PLTB), dan generator diesel/solar. Jaringan listrik mikro ini dapat terhubung dengan jaringan *utility* seperti PLN (*on-grid*) maupun terpisah dengan jaringan utiliti (*off-grid*). *Microgrid* atau jaringan kelistrikan mikro merupakan satu bentuk kelistrikan yang banyak dikembangkan, karena mampu mengurangi rugi-rugi transmisi. Semakin lama beban akan semakin naik maka rugi-rugi saluran transmisi semakin besar dan salah satu solusinya adalah dengan pembangkitan tersebar seperti yang ada pada jaringan *microgrid* (I. P. Krisna Darma Putra, 2015).

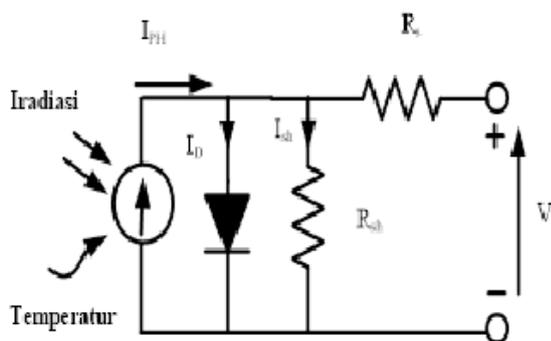
Konsep dari *microgrid* merupakan suatu pendekatan *Distributed Generation* pembangkit listrik dan beban dipandang sebagai sebuah subsistem. Dengan pendekatan seperti ini maka sistem akan terdiri dari kluster-kluster sehingga lebih memungkinkan untuk melakukan kontrol secara lokal dalam sebuah jaringan listrik (Hilman Zarory, 2014).

### 2.3 *Solar Sel*

Sel surya atau PV merupakan suatu komponen semikonduktor yang dapat menghasilkan listrik jika diberikan sejumlah

energi cahaya. Karakteristik besarnya daya yang dapat dikeluarkan oleh PV bergantung pada besarnya intensitas cahaya yang mengenai permukaan PV dan suhu pada permukaan PV. Pemodelan solar sel dapat dilakukan dengan sederhana sebagai suatu rangkaian yang terdiri dari sebuah sumber arus yang terpasang paralel dengan sebuah dioda. Dalam perkembangannya, model solar sel tidak sesederhana seperti yang dijelaskan, akan tetapi ada beberapa komponen yang harus ditambahkan dalam rangkaian permodelannya sehingga model solar sel semakin mendekati dengan kondisi sebenarnya, Sel surya dapat dimodelkan sebagai model ekuivalen listrik dalam bentuk model dioda tunggal, model dioda ganda, model dengan dan tanpa resistansi shunt dan dengan atau tanpa resistansi seri. Model yang paling umum digunakan untuk tujuan pemodelan dan simulasi adalah model dioda tunggal dengan seri dan hambatan shunt, Gambar 2.2 adalah besar arus *output* dari solar sel berbanding lurus dengan besar radiasi sinar matahari yang diterima oleh sel tersebut. Kurva karakteristik I-V dari PV ditentukan oleh karakteristik dioda (Abhinav Tripathi, 2016).

Dalam perkembangannya, model PV tidak sesederhana seperti yang diperlihatkan akan tetapi ada beberapa parameter yang harus ditambahkan sehingga model PV semakin mendekati dengan kondisi sebenarnya, seperti yang diperlihatkan pada Gambar 1.



**Gambar 1 Rangkaian Ekuivalen Solar Sel**

Berdasarkan rangkaian ekuivalen diatas sehingga persamaan dasar dari suatu PV dapat dirumuskan dengan persamaan (Munish Kumar, 2012) :

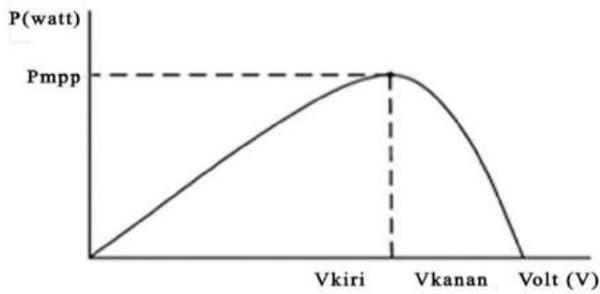
$$I = I_{ph} - I_d \left[ e^{q \left( \frac{V + IR_s}{nKT} \right)} - 1 \right] - \frac{V + IR_s}{R_p} \quad (1)$$

Dimana :

- I : Arus keluaran PV (Ampere).
- $I_{ph}$  : Efek photocurrent yang terbangkit pada PV (Ampere).
- $I_D$  : Arus saturasi dioda.
- Q : Muatan elektron=  $1,6 \times 10^{-19}$  (Coulomb).
- K : Konstanta Boltzman (Joule/kelvin).
- T : Temperatur sel (Kelvin).
- $R_s$  : Resistansi terhubung seri (Ohm).
- $R_p$  : Resistansi terhubung paralel (Ohm).
- V : Tegangan luaran PV (Volt).
- N : adalah faktor kualitas dioda yang bernilai antara 1 dan 2

## 2.4 Maximum Power Point Tracking

Maximum Power Point Tracking atau yang biasa disingkat MPPT, adalah sebuah sistem elektronis yang mengoperasikan modul solar sel agar dapat menghasilkan daya maksimal yang bisa diproduksi oleh modul sel surya. MPPT bukan merupakan sistem tracking mekanis yang secara fisik menggerakkan modul agar mengarah langsung ke matahari. MPPT merupakan sistem elektronis yang secara keseluruhan mengubah-ubah titik operasi elektronis modul sel surya sehingga dapat mengirim daya maksimal yang tersedia. Dari daya tambahan yang terkumpul yang berasal dari modul sel surya, sehingga arus pengisian baterai dapat ditingkatkan. MPPT dapat juga dihubungkan dengan sistem tracking mekanis, tetapi kedua sistem ini benar-benar sangat berbeda (Khanam J, 2018)



**Gambar 2 Prinsip kerja MPPT Berbasis P&O**

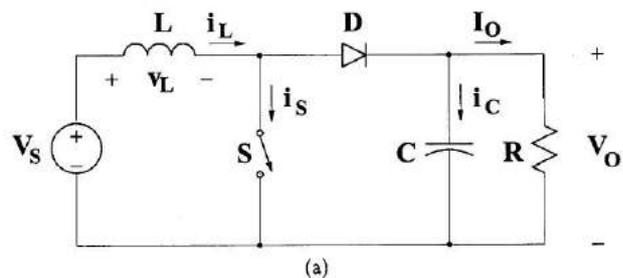
Cara kerja dari MPPT ini adalah dengan mengubah titik operasi atau titik kerja pada kurva karakteristik P-V dari panel surya sehingga sistem konverter DC-DC dapat memaksa panel surya untuk membangkitkan daya maksimum sesuai kemampuan panel surya pada setiap perubahan level intensitas penyinaran matahari. MPPT bukan pencarian secara mekanis yang menggeser arah modul panel surya sesuai arah matahari akan tetapi mengoptimalkan daya keluaran pada sistem pengendalinya. MPPT sangat penting untuk meningkatkan efisiensi. Pengendalian tegangan MPPT menggunakan *Pulse Width Modulation* atau lebar pulsa melalui rangkaian DC-DC konverter.

Metode yang paling direkomendasikan adalah metode P&O karena kesederhanaan dan kemudahan implementasi. Dalam metode ini gangguan berada pada tegangan operasi array PV. Karena algoritma P&O tidak dapat membandingkan tegangan terminal *array* solar sel dengan tegangan titik daya maksimum sehingga perubahan daya akan dipertimbangkan sebagai akibat dari gangguan tegangan terminal *array* solar sel. *Output* dari metode ini memiliki beberapa osilasi yang dapat dikurangi dengan meminimalkan ukuran gangguan. Diagram alir untuk P&O telah ditunjukkan pada Gambar 2.5 di mana perubahan tegangan terminal dari array PV bertanggung jawab atas perubahan dalam *duty cycle*. Dari diagram alir tersebut dapat diketahui, saat tidak ada perubahan daya pada panel surya, rasio *duty-cycle* tidak berubah. Jika

ada kenaikan daya dan tegangan pada panel surya, rasio *duty-cycle* akan dikurangi. Jika ada kenaikan daya tetapi tegangan tetap atau turun, maka rasio *duty-cycle* akan ditambah. Dan jika daya dan tegangan panel surya turun, maka rasio *duty-cycle* akan dikurangi. Jika daya menurun tetapi tegangan naik, rasio *duty-cycle* akan ditambah.

## 2.5 Boost Konverter

Konverter DC-DC berfungsi mengubah tegangan DC ke tegangan DC lain dengan level yang ditentukan. Keluaran konverter ini dapat divariasikan tergantung pada kebutuhan. Perubahan titik operasi sel surya dapat menghasilkan nilai keluaran maksimum yang disebabkan oleh variasi beban tersebut. DC-DC konverter memiliki beberapa jenis tergantung besar keluaran yang dibutuhkan beban.



**Gambar 3 Rangkaian Dasar Boost Konverter**

Penempatan *Boost* Konverter akan meningkatkan seluruh pemasangan solar sel, memungkinkan kontrol yang berbeda dari sistem. Bergantung pada peraturan yang diterapkan, panel akan berkontribusi pada energi maksimum yang diberikan ke sistem atau energi optimal untuk operasinya. *Boost* Konverter adalah media transmisi daya untuk melakukan penyerapan dan injeksi energi dari panel surya ke inverter yang diikat jaringan. Proses penyerapan dan injeksi energi dilakukan oleh kombinasi empat komponen yang merupakan induktor, sakelar elektronik, dan kapasitor dioda dan keluaran. *Boost* Konverter merupakan sebuah penaik tegangan DC, diperlukan ketika tegangan yang dibutuhkan oleh suatu perangkat atau

rangkaian elektronik lebih tinggi dari tegangan supply yang tersedia. Dengan syarat tegangan *output* selalu lebih besar dari tegangan *input* dan tegangan *output* mempunyai polaritas yang sama dengan tegangan *input* (Rawoof, 2015).

Sebelum menghitung nilai komponen induktor dan kapasitor pada *boost* konverter, nilai *duty cycle* dapat dicari dengan menggunakan persamaan (Hart, 2010):

$$D = 1 - \frac{V_{in}}{V_{out}} \quad (2)$$

Mencari nilai tahanan resistor yang digunakan dengan menggunakan persamaan (Hart, 2010):

$$R = \frac{V_{out}}{I_{out}} \quad (3)$$

Setelah nilai *duty cycle* dan nilai resistor dihitung maka kemudian dapat dicari nilai inductor minimum dengan persamaan (Hart, 2010):

$$L_{min} = \frac{D(1-D)^2 R}{2f} \quad (4)$$

Dan untuk mengurangi riak tegangan dari proses *switching*, digunakan sebuah kapasitor yang mana dapat dicari menggunakan persamaan (Hart, 2010):

$$C = \frac{V_o D}{R \Delta V_o f} \quad (5)$$

untuk mencari nilai *duty-cycle* yang mengatur tegangan keluaran dari *boost* konverter menggunakan persamaan (Hart, 2010):

$$D = 1 - \frac{V_s}{V_o} \quad (6)$$

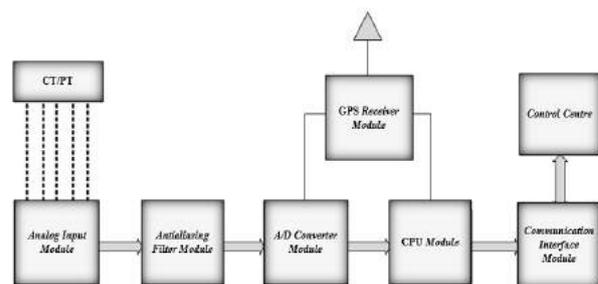
## 2.6 Inverter DC-AC

Perangkat elektronika yang dipergunakan untuk mengubah tegangan DC menjadi tegangan AC. Kualitas Inverter merupakan penentu dari kualitas daya yang dihasilkan oleh suatu sistem. Inverter berfungsi merubah tegangan DC baterai atau rangkaian *rectifier-charger* menjadi tegangan AC dan mengontrol tegangan AC agar tetap stabil meskipun tegangan *input* yang berasal dari PV modul berubah-ubah tergantung pada intensitas matahari sinyal atau gelombang

*output* berbentuk kotak setelah melalui pembentukan gelombang dan rangkaian filter. Tegangan *output* yang dihasilkan dapat berupa tegangan yang dapat diatur dan tegangan tetap harus stabil baik amplitudo tegangan maupun frekuensinya distorsi yang rendah tidak terdapat tegangan transien serta tidak dapat di interupsi oleh suatu kejadian (Rina Irawati, 2011).

## 2.7 Phasor Measurement Unit (PMU)

PMU adalah suatu peralatan yang digunakan untuk tujuan monitoring. Pemasangan PMU pada sistem kelistrikan mampu memonitoring secara real time dan selaras antara PMU satu dengan lainnya. PMU menggunakan sinyal satelit *Global Positioning System* (GPS) untuk meyamakan waktu sampling antar PMU sehingga fasor tegangan dan arus dapat diukur secara terus – menerus.



**Gambar 6 Blok Diagram PMU**

Gambar 6 menjelaskan bagaimana konsep dari PMU. Konsep-konsep ini harus dimodifikasi ketika pengukuran fasor praktis harus dilakukan untuk sinyal input tidak konstan, dan frekuensinya mungkin variabel. Arus dan tegangan yang diperoleh dari belitan sekunder CT dan PT yang terletak di gardu induk adalah input analog ke PMU. Ketiga arus dan voltase fase digunakan untuk melakukan pengukuran urutan positif. Sinyal arus dan tegangan dikonversi menjadi tegangan dengan shunts atau transformator instrumen yang sesuai agar sesuai dengan persyaratan analog-ke-digital (A / D) konverter.

Sebuah fasor adalah bilangan kompleks yang mewakili besarnya dan sudut fase dari

gelombang sinus yang ditemukan dalam sistem arus bolak-balik. Bentuk gelombang dapat direpresentasikan sebagai berikut (Khoa & Tung, 2018) :

$$x(t) = X_m \cos(\omega t + \phi) \quad (7)$$

Dimana  $X_m$  adalah besarnya gelombang sinusoidal;  $\omega = 2 \pi f$  adalah frekuensi sesaat dari sinyal dalam radian per detik; dan  $\phi$  adalah sudut fase. Dalam notasi fasor, dapat direpresentasikan sebagai berikut (Khoa & Tung, 2018) :

$$\vec{X} = \frac{X_m}{\sqrt{2}} \angle \phi \quad (8)$$

Dimana  $X_m / \sqrt{2}$  adalah *Root Mean Square* (RMS) nilai dari gelombang sinusoidal.

## 2.8 Regulasi Tegangan

Dalam Penyediaan tenaga listrik, tegangan yang konstan merupakan salah satu syarat utama yang harus dipenuhi. Regulasi tegangan atau sering disebut pengaturan tegangan erat kaitannya dengan pengaturan daya reaktif dalam sistem. Berbeda dengan frekuensi yang nilainya selalu sama pada semua bagian sistem, tegangan memiliki nilai yang berbeda-beda dalam setiap bagian sistem. Oleh karenanya pengaturan tegangan tidak dapat dilakukan pada satu bagian saja, melainkan harus merata pada bagianbagian dalam sistem yang mengalami tegangan jatuh (Yunus, 2015).

$$V_{reg} = \frac{V_s - V_r}{V_s} \times 100\% \quad (9)$$

Dimana :

$V_s$  = Tegangan Ujung Pengirim

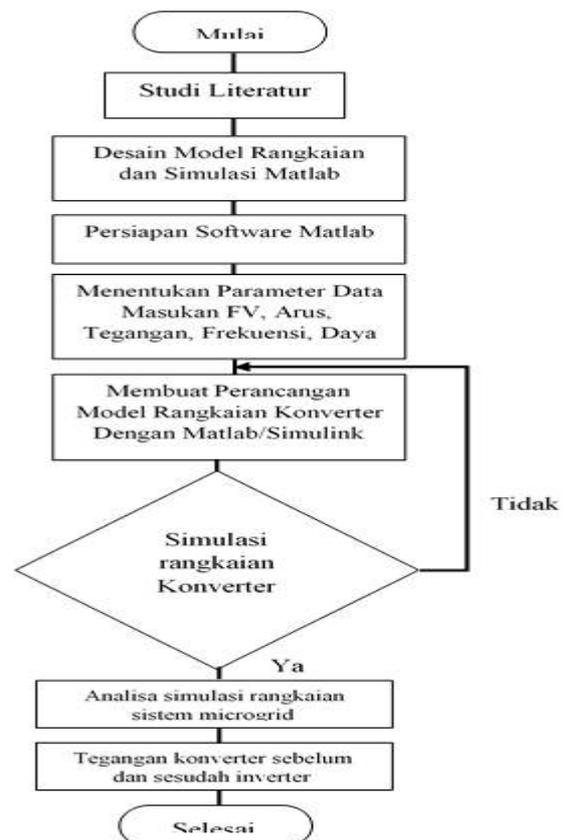
$V_r$  = Tegangan Ujung Penerima

## III. Metodologi

Pada artikel ini simulasi dilakukan dengan menggunakan simulink yang terdapat pada aplikasi Matlab R2016a. Ada beberapa tahapan penting yang harus dilakukan dalam uji coba ini, diantaranya adalah sebagai berikut :

1. Membuat desain menggunakan Matlab/*Simulink*.
2. Pengambilan Data Simulasi.
3. Analisa Hasil Simulasi

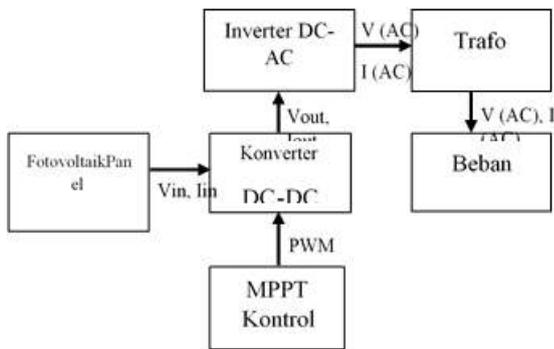
Diagram alir yang digunakan pada artikel diberikan pada Gambar 3 berikut:



**Gambar 7 Diagram Alir Perancangan Konverter dengan Sumber Solar Sel**

Solar sel digunakan untuk mengubah energi matahari menjadi listrik. Algoritma *Maximum Power Point Tracking* (MPPT) menyediakan titik daya maksimum untuk pengoperasian sistem solar, yang dicapai menggunakan algoritma P&O. Selain itu, konverter DC-DC memastikan bahwa tegangan *output* akan selalu lebih besar daripada tegangan puncak kisi. Elemen utama yang dapat dimasukkan dalam sistem konversi fotovoltaik adalah modul solar sel, konverter, jaringan utilitas, beban DC dan AC, dan Inverter. Pada

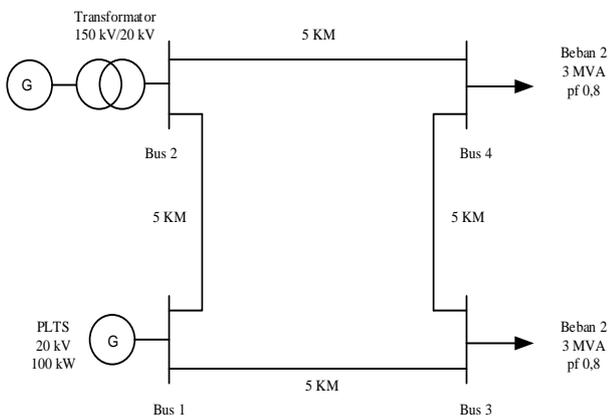
gambar 7 mewakili diagram blok skema dasar dari solar sel yang terhubung ke jaringan.



**Gambar 8 Blok Diagram Konverter Pada Sistem Microgrid dengan Sumber Solar Sel**

### 3.1 Single Line Diagram

Gambar 9 menunjukkan *single line* diagram kelistrikan dari objek simulasi pada artikel ini. Pada *single line* diagram ini objek penelitian dijadikan dalam bentuk 4 busbar. Bus 1 adalah sumber atau pembangkit listrik tenaga surya, bus 2 adalah pembangkit PLN dimana berfungsi sebagai pembangkit ke dua, bus 3 dan 4 merupakan grid yang terhubung pada beban.



**Gambar 9 Single Line Diagram Pada Simulasi Matlab**

### 3.2 Permodelan Komponen DG Bersumber Solar Sel via Matlab/Simulink

Pada pembahasan ini menjelaskan perancangan dari komponen-komponen PLTS

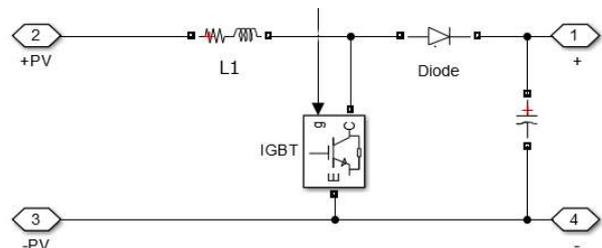
untuk membangun sistem yang terhubung DG yang digunakan objek pada artikel ini dan parameter-parameter yang digunakan via Matlab/Simulink.

#### 3.2.1 Perancangan Modul Solar Sel

Dalam artikel ini menggunakan satu buah panel PV array dengan tipe *Sun Power SPR-305E-WHT-D* 100 kWp dengan keluaran daya maximum 305.226 W. Gambar.5 dapat dilihat bentuk modul solar sel pada Matlab R2016a.

#### 3.2.2 Perancangan Boost Konverter

*Boost* Konverter merupakan salah satu DC-DC konverter yang berfungsi menaikkan tegangan masukan dari solar sel. Pada artikel ini Konverter *Boost* hanya digunakan sebagai konverter untuk diintegrasikan dengan algoritma MPPT, sehingga respon transformasi dari konverter ini tidak terlalu dibahas terlalu dalam.



**Gambar 10 Rangkaian Boost Konverter**

*Boost* konverter bekerja pada dua mode. Mode pertama adalah saat saklar *on*, tegangan induktor sama dengan tegangan masukan. Dioda dalam kondisi pra-tegangan mundur. Induktor akan mulai menyimpan energi dalam bentuk energi magnetik. Energi yang tersimpan pada kapasitor digunakan untuk mensuplai beban. Mode kedua adalah saat saklar *off*. Dioda pada kondisi pra-tegangan maju. Energi yang tersimpan pada induktor akan dialirkan melalui dioda untuk mengisi kapasitor dan mensuplai beban.

Dalam perancangan *boost* konverter terdapat beberapa faktor utama yang harus

diperhatikan diantaranya adalah variabel awal dalam merancang rangkaian boost converter yang pada nantinya digunakan sebagai parameter perhitungan untuk mendapatkan nilai besaran komponen-komponen lain seperti *duty cycle*, resistor, induktor, dan kapasitor.

Dalam merancang rangkaian *Boost Converter*, diperlukan nilai inductor dan kapasitor sebagai berikut :

1. Duty Cycle

$$D = 1 - \frac{V_{in}}{V_{out}}$$

$$D = 1 - \frac{273,5}{500}$$

$$D = 0,453$$

2. Resistor

$$R = \frac{V_{out}}{I_{out}}$$

$$R = \frac{500}{368}$$

$$R = 1,63 \text{ ohm}$$

3. Induktor

$$L_{min} = \frac{D(1 - D)^2 R}{2f}$$

$$L_{min} = \frac{0,453(1 - 0,453)^2 1,63}{(2)(20000)}$$

$$L_{min} = 4,26 \times 10^{-6} \text{ H}$$

4. Kapasitor

$$C = \frac{V_o D}{R \Delta V_o f}$$

$$C = \frac{(500)(0,453)}{(1,63)(0,01)(20000)}$$

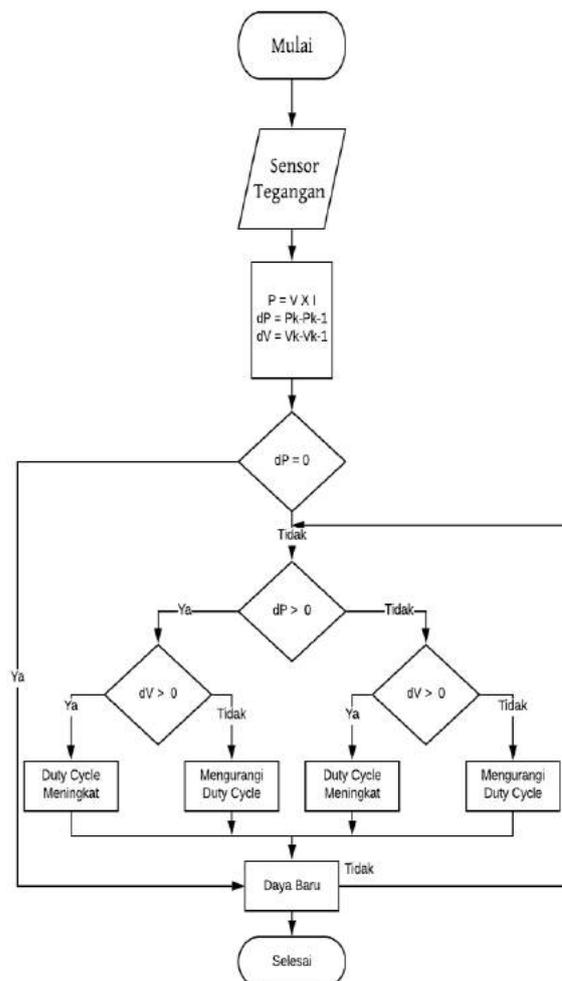
$$C = 0,898809 \text{ F}$$

### 3.2.3 Perancangan Kontrol Konverter

Pada artikel ini menggunakan algoritma MPPT P&O. Algoritma P&O adalah salah satu algoritma sederhana dalam menjejak daya pada PV. Algoritma P&O bekerja berdasarkan referensi tegangan dan arus pada kondisi daya puncak.

Gambar 11 adalah diagram alir yang menjelaskan tentang program membaca delta daya atau selisih daya. Dimulai dari

mendapatkan nilai tegangan dan arus dari sensor pada solar sel. Hasil dari sensor tersebut dikalikan untuk mendapatkan nilai daya. Jika terjadi perubahan pada nilai daya, maka diamati apakah perubahan daya sama dengan nol atau perubahan daya tidak sama dengan nol. Jika perubahan daya lebih besar dari nol, maka akan mengamati perubahan tegangan. Jika tegangan besar dari nol, *duty-cycle* akan diturunkan. Jika kecil dari nol, *duty-cycle* dinaikkan. Begitu juga sebaliknya, jika perubahan daya lebih kecil dari nol, maka akan diamati perubahan tegangan. Jika tegangan lebih kecil dari nol, *duty-cycle* akan diturunkan. Dan jika tegangan besar dari nol, *duty-cycle* akan dinaikkan. Perubahan yang diberikan *duty-cycle* akan menjadi nilai daya maksimum solar sel yang baru.



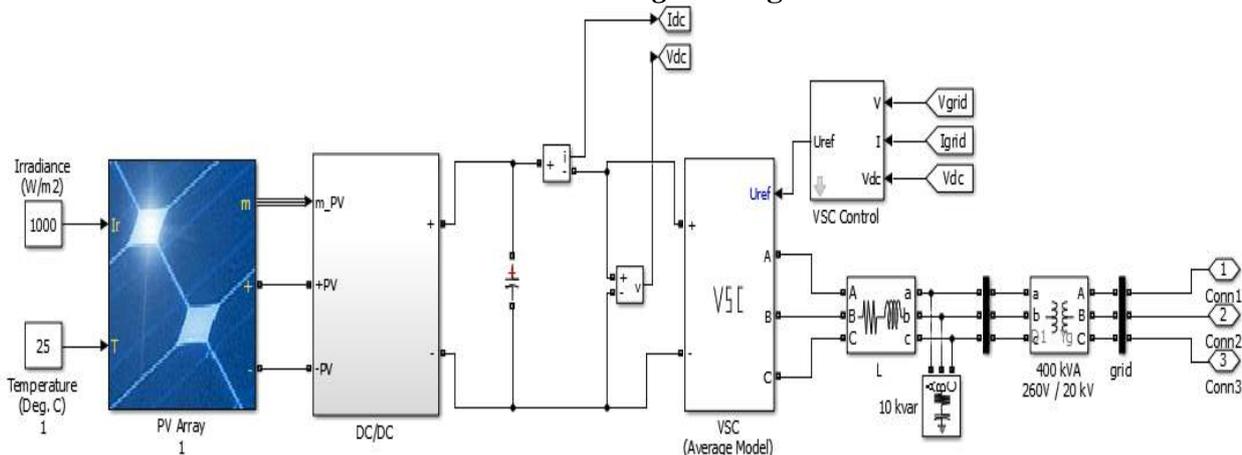
Gambar 11 Flowchart Algoritma P&O

Pada proses perancangan konverter pada sistem *microgrid* dengan sumber solar sel telah dilakukan desain setiap komponen dari sistem solar sel yaitu: Solar sel, MPPT algoritma P&O, *Boost* konverter. Setiap komponen dari sistem ini pada poin sebelumnya telah di desain secara detail untuk mendapatkan hasil yang diinginkan. Dengan memperhatikan hasil keluaran dari konverter sampai dengan diubah menjadi tegangan AC tiga fasa.

Gambar 12 ini menunjukkan pemodelan simulasi dari perancangan ini, dimana sistem solar terhubung dengan jaringan atau bias disebut juga dengan seluruh sistem *microgrid*. Solar sel

digunakan untuk mengubah energi matahari menjadi listrik. Algoritma MPPT menyediakan titik daya maksimum untuk pengoperasian sistem solar, yang dicapai menggunakan algoritma P&O. Selain itu, konverter DC-DC memastikan bahwa tegangan *output* akan selalu lebih besar daripada tegangan puncak kisi. Elemen utama yang dapat dimasukkan dalam sistem konversi fotovoltaik adalah modul fotovoltaik, konverter, jaringan utilitas, beban DC dan AC, dan Inverter. Ini adalah pengaturan yang digunakan dalam unit catu daya siaga PV, itu disebut sistem grid terhubung tanpa cadangan baterai.

### 3.3 Pemodelan Konverter Pada Sistem *Microgrid* dengan Sumber Solar Sel



**Gambar 12 Pemodelan Konverter Pada Sistem *Microgrid* Dengan Sumber Solar Sel**

## VI Hasil dan Pembahasan

Pada bagian ini akan membahas data dan hasil dari perancangan konverter dengan sumber solar sel. Hasil data simulasi dengan pengujian tingkat iradiasi berbeda dan pada bagian ini juga membahas analisi dari hasil simulasi dengan tingkat iradiasi.

Pada artikel ini parameter modul solar sel yang digunakan terlihat pada Tabel 1. Parameter modul solar sel disesuaikan berdasarkan parameter modul solar sel yang terdapat dipasaran.

**Tabel 1. Parameter Modul Solar Sel**

Parameter	Nilai
Isc	5,96 A
Voc	64,2 V
Pmax	305,226 Watt
Imp	5,58 A
Vmp	54,7 V
Modul Seri	5
Modul Paralel	66

Dari Tabel 1 dapat dilihat sat modul PV saat keadaan maksimum dapat menghasilkan tegangan sebesar 64,2 Volt. Dan menghasilkan arus sebesar 5,96 A pada saat *short circuit*. Dari parameter tersebut penulis dapat menentukan

jumlah modul yang dipakai untuk mencapai daya sebesar 100 kWp.

Sesuai dengan perhitungan yang dilakukan maka parameter *Boost Converter* dapat dilihat pada Tabel 2. Dengan frekuensi *switching* 20 KHz, nilai induktor dan kapasitor yang digunakan masing-masing sebesar  $4,26 \times 10^{-6} H$  dan  $0,898809 F$ .

**Tabel 2 Parameter Boost Konverter**

Parameter	Nilai
Induktor	$4,26 \times 10^{-6} H$
Kapasitor	$0,898809 F$
Frekuensi Switching	20000

**Tabel 3 Parameter Boost Konverter Sebelum Simulasi**

Parameter	Nilai
Pmax	100,6 kWp
Vin	273,5 Vdc
Vout	500 Vdc
Iin	368 A

Tabel 3 adalah tabel yang menjadi acuan dalam perhitungan masing-masing komponen. Pada tabel ini merupakan analisa sebelum dilakukannya simulasi pada Matlab. Nilai daya, tegangan dan arus pada tabel ini diperoleh dari perhitungan terhadap susunan solar sel. Untuk mendapatkan tegangan *output* solar sel, solar sel dihubung secara seri. Maka nilai tegangan dapat dicari dengan persamaan :

$$V(\text{seri}) = 54,7 \text{ VDC} \times 5 \text{ PV} = 273,5 \text{ VDC} \quad (10)$$

Untuk mendapatkan arus *output* solar sel, solar sel dihubung secara paralel. Maka nilai arus dapat dicari dengan persamaan :

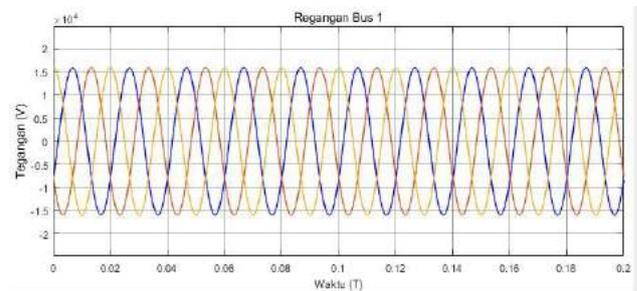
$$I(\text{paralel}) = 5,58 \text{ VDC} \times 66 \text{ PV} = 368,28 \text{ VDC} \quad (11)$$

Setelah nilai tegangan dan arus *output* didapatkan, maka untuk nilai daya (Pmax) dapat dicari dengan persamaan :

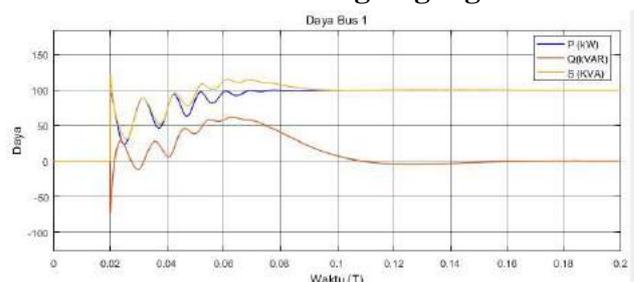
$$P_{\text{max}} = V \times I = 273,5 \text{ VDC} \times 368,28 \text{ VDC} = 100.6 \text{ kW} \quad (12)$$

### 4.3 Hasil Pengujian Tingkat Iradiasi Berbeda

Gambar 13 dan 14 memperlihatkan hasil dari simulasi dengan tingkat iradiasi terhadap tegangan dan daya pada bus 1. Tegangan yang terbaca pada bus 1 dengan tingkat iradiasi 1000 W/m<sup>2</sup> sebesar  $1,6 \times 10^4$  Vdc, daya aktif sebesar 102,95 kW, daya reaktif sebesar 7,16 kVAR dan daya semu sebesar 103,21 kVA. Tegangan yang terbaca pada bus 1 ini adalah tegangan bersifat *phasa to netral*. Maka tegangan ini dikonversikan ke tegangan *phasa to phasa*.



**Gambar 13 Gelombang Tegangan bus 1**



**Gambar 14 Gelombang Keluaran Daya bus 1**

**Tabel 4 Hasil Pengujian Iradiasi Berbeda Pada Solar Sel dan Konverter**

Iradiasi (W/m <sup>2</sup> )	Suhu (°C)	V <sub>in</sub> (V)	I <sub>in</sub> (A)	V <sub>out</sub> (V)	I <sub>out</sub> (A)	P <sub>in</sub> (kW)	P <sub>out</sub> (kW)
1000	25	273,47	381,46	500,89	208,76	104	103,21
800	25	273,36	304,71	500,51	166	83,14	82,74
600	25	273,31	227,34	500,37	124,16	62,16	61,92
400	25	272,01	150,32	500,27	81,84	41,06	40,87
200	25	268,18	74,88	500,12	39,19	20,06	19,90

Tabel 4 adalah tabel yang memperlihatkan kinerja dari *boost* konverter. Terdapat hasil dari V<sub>dc</sub> dan I<sub>dc</sub> pada rangkaian *boost* konverter. Penambahan induktor dan *switching* dari transistor mampu membangkitkan tegangan dengan mode *switching*. Pada rangkaian ini terdapat dua bagian penting, yaitu rangkaian pembangkit arus atau yang lebih dikenal dengan sebutan PWM dan rangkaian pembangkit tegangan atau *boost*. Hal ini yang menyebabkan tegangan DC dapat dibangkitkan sampai dengan tegangan keluaran 1,83 kali dari tegangan input dan arus DC pada rangkaian *boost* yang terbaca sebesar 381,26 Adc. Rangkaian yang terdapat pada artikel ini adalah penaik tegangan berbasis *step up voltage* DC to DC. Rangkaian ini banyak dikenal sebagai *boost converter*. Karena rangkaian ini merupakan penaik tegangan, maka tegangan output lebih besar hingga 4 kali lipat dari tegangan input.

**Tabel 5 Hasil Pengujian Iradiasi Berbeda Inverter dan bus 1**

Iradiasi (W/m <sup>2</sup> )	Suhu (°C)	V Inverter (V)	I Inverter (A)	V Bus (V)	I Bus (A)
1000	25	207	330	1,6 x 10 <sup>4</sup>	4,3
800	25	207,5	263,7	1,6 x 10 <sup>4</sup>	3,4
600	25	207	198,7	1,6 x 10 <sup>4</sup>	2,5
400	25	206,5	131,4	1,6 x 10 <sup>4</sup>	1,7
200	25	207	63,9	1,6 x 10 <sup>4</sup>	0,82

Tabel 5 adalah tabel yang memperlihatkan hasil pengujian dari tingkat iradiasi berbeda dengan menunjukkan hasil keluaran tegangan dan arus tiga fasa dari inverter dan bus 1.

**Tabel 6 Hasil Pengujian Iradiasi Berbeda Pada Daya**

Iradiasi (W/m <sup>2</sup> )	Suhu (°C)	Daya Output Inverter			Daya Bus 1		
		P (kW)	Q(kVAR)	S(kVA)	P (kW)	Q(kVAR)	S(kVA)
1000	25	102,95	7,16	103,21	102,53	0,35	102,53
800	25	82,59	4,74	82,73	82,26	0,3	82,26
600	25	61,85	2,79	61,92	61,58	0,22	61,58
400	25	40,87	1,35	40,89	40,64	0,12	40,64
200	25	19,93	0,5	19,93	19,73	0,07	19,73

Tabel 6 memperlihatkan hasil pengujian tingkat iradiasi yang berbeda. Tingkat iradiasi yang berbeda ini mempengaruhi keluaran dari tegangan sel surya maka hasil dari keluaran daya juga berpengaruh, karena daya hasil perkalian antara tegangan dan arus. Pada Tabel 4.4 menunjukkan hasil keluaran daya, yakni daya aktif, daya reaktif dan daya semu.

Menurut persamaan 9 dapat dihitung regulasi tegangan dari hasil simulasi ini pada grid yang dibangkitkan oleh solar sel ini. Tegangan bus 1 yang digunakan adalah tegangan rms, sebagai berikut :

$$V_{reg} = \frac{V_s - V_r}{V_s} \times 100\% = \frac{20.000 V - 19.473,4434 V}{20.000 V} \times 100 = 2,63 \%$$

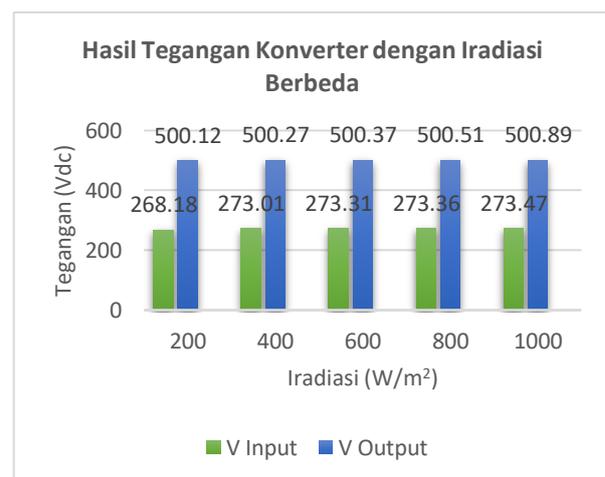
Jika mengikuti standar PLN No. 72 tahun 1987 untuk jatuh tegangan pada JTR yakni sebesar 5%, maka dalam hal ini memenuhi standar tersebut sehingga perlu dipertimbangkan rekonfigurasi jaringan atau penambahan solar sel baru.

#### 4.4 Hasil Simulasi Model & Pengujian

Selain jumlah iradiasi yang mempengaruhi keluaran dari sel surya, suhu juga sangat berpengaruh, yaitu semakin besar suhu maka nilai tegangan *open circuit* akan semakin kecil. Hal ini disebabkan penurunan energi gap ketika suhu meningkat. Pada bagian ini, simulasi yang dilakukan terhadap iradiasi yang berbeda saja, dikarenakan pada artikel ini dilakukan dengan simulasi Matlab.

Iradiasi sangat mempengaruhi besar kecilnya arus yang dihasilkan. Hal ini berdasarkan persamaan 1, dari hasil uji terhadap iradiasi yang berbeda terlihat bahwa iradiasi sel surya berbanding lurus dengan arus yang dihasilkan. Artinya semakin berkurang iradiasi yang mengenai sel surya maka semakin berkurang arus yang dihasilkan oleh sel surya

untuk menyuplai beban. menunjukkan bahwa arus *short circuit* mengalami penurunan ketika iradiasi yang diterima oleh sel surya berkurang. Hal ini karena saat iradiasi yang berkurang menyebabkan elektron-elektron yang terlepas semakin sedikit sehingga arus listrik yang dihasilkan menurun. iradiasi juga berpengaruh terhadap perubahan tegangan *open circuit*. Tegangan *open circuit* semakin berkurang ketika iradiasi dikurangi, namun perubahan yang dihasilkan tidak signifikan atau perubahannya sangat kecil. Karena iradiasi yang mengenai sel surya mempengaruhi keluaran dari sel surya maka daya yang dihasilkan pun terpengaruh. Menurut teorinya karakteristik listrik dari setiap modul surya tidak identik, perbedaan dalam orientasi dan arah datang sinar matahari ke setiap modul surya, dan sebagainya mempengaruhi



**Gambar 15 Chart Hasil Tegangan Terhadap Iradiasi**

Gambar 15 merupakan chart yang menunjukkan hasil tegangan terhadap iradiasi dengan hasil tegangan *input* dan *output* dari konverter dari hasil simulasi berdasarkan tabel 4. Chart menunjukkan simulasi dengan tingkat iradiasi berbeda. Pada chart hijau merupakan tegangan *input* dari solar sel yang menghasilkan tegangan sebesar 272,47 Vdc dan chart biru merupakan tegangan *output* dari solar sel yang menghasilkan tegangan sebesar 500,89 Vdc.

Simulasi dengan tingkat iradiasi yang berbeda dapat mempengaruhi tegangan. Tegangan *open circuit* semakin berkurang ketika iradiasi dikurangi, namun perubahan yang dihasilkan tidak signifikan atau perubahannya sangat kecil. Karena iradiasi yang mengenai sel surya mempengaruhi keluaran dari sel surya maka daya yang dihasilkan pun terpengaruh.

Pada Gambar 13 dan 14 dan tabel 4 sampai dengan tabel 6 menunjukkan hasil dari simulasi dari sistem ini. Dengan menjalankan simulasi berupa tingkat iradiasi yang berbeda. Dimana nilai parameter sebelumnya ditunjukkan pada tabel 4.2, kemudian setelah dilakukannya simulasi dengan tingkat iradiasi berbeda didapat daya *output*, tegangan *input*, arus *input* dan tegangan *output* hasil yang sedikit berbeda dari hasil perhitungan awal dengan daya sebesar 103,21 kW di ikuti dengan keluaran tegangan dan arus dari solar sel sebesar 272,47 Vdc dan 381,46 Adc, *switching* pulsa Boost konverter dan tegangan *output* 500,89 Vdc. Kemudian inverter dan filter LC mengkonversikan tegangan DC ke AC dan filter LC menyaring sinyal PWM dan meningkatkan kualitas daya untuk disalurkan ke utilitas grid. Pada Tabel 7 menunjukkan dimana hasil dari simulasi pada saat iradiasi 1000 W/m<sup>2</sup>.

**Tabel 7 Parameter Boost Konverter Setelah Simulasi**

Parameter	Nilai
Pmax	103,21 kWp
Vin	272,47 Vdc
Vout	500,89 Vdc
Iin	381,46 A

## V Kesimpulan

Berdasarkan perancangan Konverter DC ke DC untuk menstabilkan tegangan keluaran solar sel menggunakan teknologi *boost* konverter telah diuji kinerjanya melalui tegangan keluaran dari panel solar sel 100 kWp yang nilai

bervariasi dari tegangan *input* 273 Vdc sampai menghasilkan tegangan *output* 500 Vdc pada saat iradiasi 1000 W/m<sup>2</sup>.

Solar sel dengan iradiasi 1000 W/m<sup>2</sup> sebelum menggunakan MPPT P&O menghasilkan daya keluaran sebesar 104 kW, setelah melakukan penjajakan daya oleh MPPT P&O daya keluaran yang dihasilkan adalah 103,21 kW. Ini menandakan bahwa MPPT P&O dalam tugasnya untuk pengoptimalan daya berfungsi dengan baik. MPPT P&O menggunakan tegangan dan arus yang hasilnya dikali untuk mendapatkan nilai daya. Dimana perubahan tegangan dan arus dideteksi oleh algoritma dan dihitung untuk menentukan menaikkan atau menurunkan *duty cycle* yang akan diberikan ke rangkaian *Boost* konverter.

Pada pengujian yang telah dilakukan, maka dapat diambil kesimpulan hasil simulasi dengan tingkat iradiasi yang berbeda mulai dari tingkat iradiasi 200 W/m<sup>2</sup> sampai 1000 W/m<sup>2</sup> dapat mempengaruhi keluaran dari solar sel. Yaitu berupa arus, tegangan, dan daya keluaran.

## DAFTAR PUSTAKA

- Abdalla Y.Mohammed, F. L. (2017). Grid Connected Photovoltaic System. *International Conference on Communication, Control, Computing and Electronics Engineering (ICCCCEE)*.
- Abhinav Tripathi, K. B. (2016). Modeling & Simulation of Proposed Grid Connected 10 MW Solar PV Array Power Plant at Lucknow. *IEEE International Conference on Power Electronics, Intelligent Control and Energy Systems*, 1-5.
- Achriansyah, M. K. (2015). *Analisa Conservation Voltage Reduction (CVR) Pada Jaringan Distribusi Microgrid Menggunakan Line Drop Compensator*

- (LDC). Surabaya: Institut Teknologi Sepuluh Nopember.
- Anwar Ilmar Ramadhan, E. D. (2016). Analisis Desain Sistem Pembangkit Listrik Tenaga Surya Kapasitas 50 WP. *Jurnal Teknik*, 59-63.
- Budiyanto, R. S. (2014). Jaringan Mikro Arus Searah (DC MICROGRID) Sebagai Upaya Ketersediaan Energi Listrik Dalam Pengembangan Energi Terbarukan. 1-7.
- Cen, Z. (2017). Modeling and Simulation for an 8 kW Three-Phase Grid-Connected Photo-Voltaic Power System. *Open Phys*, 608-611.
- Cen, Z. (2017). Modeling and Simulation for an 8 kW Three-Phase Grid-Connected Photo-Voltaic Power System. *Research*, 603-612.
- Daniel W. Hart. (2010). *Power Electronics*. New York: Mcgram Hill.
- F. Katiraei, M. R. (2006). Power Management Strategies for a Microgrid With Multiple Distributed Generation Units. *IEEE TRANSACTIONS ON POWER SYSTEM*, 1820-1830.
- Fainan A. Magueed, J. S. (2005). Control of VSC connected to the grid through LCL-filter to achieve balanced currents. *IAS IEEE*, 572-278.
- Guldemir, H. (2005). Sliding Mode Control of DC-DC Boost Converter. *Jurnal of Applied Sciences*, 588-592.
- Hart, D. W. (2010). *Power Electronics*. New York: Mcgraw Hill.
- Hilman Zarory, F. D. (2014). Kendali Penyimpan Energi Listrik untuk Aplikasi Mikrogrid. *JNTETI*, 146-151.
- I. P. Krisna Darma Putra, I. A. (2015). Perencanaan Sistem Jaringan Mikro (Microgrid) Dengan Supply Dari Pembangkit Listrik Tenaga Surya (Plts) Dan Generator Set Di Jurusan Teknik Elektro Universitas Udayana. *Teknologi Elektro*, 69-74.
- Khanam J, F. S. (2018). Modeling of a Photovoltaic Array in MATLAB Simulink and Maximum Power Point Tracking Using Neural Network. *Electrical and Electronic Systems*, 1-8.
- Kholid Akhmad, E. N. (2017). Performance of the PV Subsystems in Smart Micro Grid. *IJITEE*, 25-30.
- Kosyachenko, L. (2011). *Solar Cell-Silicon Wafer-Based Technologies*. Croatia: Intech.
- Lucian Ioan Dulău, M. A. (2013). Distributed generation technologies and optimization . 687-688.
- Lucian Ioan Dulău, M. A. (2014). Distributed generation technologies and optimization. *Procedia Technology*, 687 – 692.
- Muhammad Alfin Assyidiq, B. W. (2017). Perancangan Boost Konverter Menggunakan Voltage Feedback Pada Panel Surya. *Transient*, 405.
- Munish Kumar, M. S. (2012). Simulation and Analysis of Grid Connected Photovoltaic System with MPPT.
- Rafia Rawoof, R. B. (2015). Modeling and Simulation of 100 kWp Grid-Connected Photovoltaic Power System. *onference on Power, Control, Communication and Computational Technologies for Sustainable Growth (PCCCTSG)*, 15-20.

- Rashid, M. (2001). *Power Electronics Handbook*. Florida: Academic Press.
- Ravi Nath Tripathi, A. S. (2013). A MATLAB-Simulink-Based Solar Photovoltaic Array (SPVA) Module with MPPT.
- Rina Irawati, Z. d. (2011). MICRO-GRID PLTS UNTUK MENJAGA KUALITAS DAYA DI INDUSTRI. *Ketenagalistrikan Dan Energi Terbarukan*, 9-20.
- Rennie, D. J. (2003). Distributed Generation in Future Grid. *Kuleuven-ESAT/ELECTA*.
- Siti Saodah, S. U. (2019). Perancangan Sistem Grid Tie Inverter pada Pembangkit Listrik Tenaga Surya. *Elkomika*, 339-350.
- Sumaiya Rahman, H. A. (2016). Use of Photovoltaics in Microgrid as Energy Source and Control Method using MATLAB/Simulink. *International Journal of Electrical and Computer Engineering*, 851-857.
- Suriadi, M. S. (2010). Perencanaan Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) Terpadu Menggunakan Software PVSYST Pada Komplek Perumahan di Banda Aceh. *Rekayasa Elektrika*, 77-80.
- T.Ackermann, G. a. (2000). Distributed Generation: A Definition. *Electric Power System Research*.
- Usha Sharma, V. D. (2018). Matlab/Simulink Model Of Two-Stage, Grid Connected 50kw Solar System. *International Journal of Research and Analytical Reviews*, 596-601.
- utami, S. (2017). Implementasi Algoritma Perturb and Observe Untuk Mengoptimasi Daya Keluaran Solar Cell Menggunakan MPPT. *Infotel*, 92-99.
- William D. Stevensen, J. (1983). *Analisis Sistem Tenaga Listrik*. Jakarta: Erlangga.
- Yunando, S. (2018). Studi Microgrid System Menuju Pembangunan Desa Mandiri Energi Di Desa Temajuk Kabupaten Sambas. *Jurnal ELKHA*, 6-14.
- Yunus, A. M. (2015). Evaluasi Nilai Regulasi Tegangan Distribusi pada PLTMH . 12.
- Zulkarnain, I. (2009). ANALISIS PENGARUH HARMONISA TERHADAP ARUS NETRAL, RUGI-RUGI DAN PENURUNAN KAPASITAS PADA TRANSFORMATOR DISTRIBUSI . 1-8.

