

DESAIN PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA SURYA TIPE ROOFTOP ON GRID – SYSTEM PADA GEDUNG LABORATORIUM TEKNIK ELEKTRO UNIVERSITAS RIAU

Khusnul Yakin¹⁾, Antonius Rajagukguk²⁾

¹⁾Mahasiswa Program Studi Teknik Elektro S1, ²⁾Dosen Teknik Elektro
Program Studi Teknik Elektro S1, Fakultas Teknik Universitas Riau
Kampus Binawidya Jl. H.R Soebrantas Km 12,5 Simpang Baru Panam,
Pekanbaru, Riau 28293

E-mail : Khusnul.yakin@student.unri.ac.id

ABSTRACT

Fossil resources will be depleted and not a sustainable option for the future. Fossil energy needs to be reduced in use and replaced by renewable energy sources. Solar energy is an alternative energy source with photovoltaic (PV) because of its unlimited availability. The PV system can be placed on top of a building and the maximum utilization of solar energy and utilizes the roof area to reduce investment costs in PV construction. This study designs and simulates a Rooftop PV On-Grid System in the Electrical Engineering Laboratory Building, Riau University. Design layout using Sketchup Pro 2017 software and PV mini-grid simulation using Marlab R2016a software. The results of this study resulted in 144 modules with a module power of 250 Wp from the total size of the roof of the building used and the total power was 36 kWp. The output of the PV module will be continued with the Buck Converter series to reduce the output as desired. Based on the results of the power test with 1000 W / m² irradiation, the power obtained is 35,850 Wp. The resulting converter circuit efficiency is 98%. The system is designed to be connected and synchronous to the electricity network, when the load is greater than the PLTS power, the system regardless of the load is replaced by the PLN Electricity Network.

Keywords: PLTS Rooftop, Grid-Connected, Buck Converter, Sketchup Pro 2017, Matlab R2016a

I. PENDAHULUAN

Penggunaan tenaga listrik merupakan salah satu kebutuhan mendasar di kehidupan sehari-hari yang menyebabkan penggunaan energi listrik secara global semakin meningkat karena pertumbuhan dan perkembangan populasi. Sumber daya fosil tidak menjadi pilihan berkelanjutan untuk masa depan, karena sumber energinya tidak dapat diperbarui dan berperan terhadap pencemaran lingkungan. Oleh karena itu, penggunaan sumber energi fosil perlu dikurangi dan digantikan oleh sumber daya energi yang tidak terbatas. Pada saat ini, energi matahari menjadi salah satu pilihan sumber energi alternatif karena ketersediannya yang tidak terbatas. Penggunaan energi matahari yang digunakan dalam sistem *photovoltaic* memiliki tingkat pencemaran yang lebih rendah dibandingkan dengan pembangkit listrik bersumber daya fosil. Hal tersebut membuat teknologi *photovoltaic* salah satu yang paling diminati dalam energi terbarukan (Luis Hernandez-Callejo, 2019).

Indonesia sangat berpotensi untuk menjadikan *photovoltaic* sebagai salah satu sumber energi pengganti fosil mengingat posisinya yang terletak pada garis khatulistiwa dan memungkinkan sinar matahari dapat optimal diterima di hampir seluruh Indonesia sepanjang tahun. Menurut Kementerian Energi dan Sumber Daya

Mineral (ESDM) potensi energi surya di Indonesia yakni sekitar 4.8 kWh/m² atau setara dengan 112.000 GWp, namun yang sudah dimanfaatkan baru sekitar 10 MWp. (ESDM, 2020)

Sistem Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) dibagi berdasarkan aplikasi dan konfigurasi, secara garis besar PLTS diklasifikasikan menjadi dua yaitu, sistem tidak terhubung jaringan (*Off-grid PV plant*) atau lebih dikenal dengan PLTS berdiri sendiri (*stand-alone*), dan sistem PLTS terhubung jaringan (*Grid-connected PV plant*). Apabila dalam penggunaannya PLTS digabung dengan jenis pembangkit listrik lain maka disebut sistem hibrid. Faktor utama yang mempengaruhi variasi produksi energi listrik PLTS adalah iradiasi matahari, temperatur modul surya, dan *shading* yang terjadi selama waktu operasi. Iradiasi mempengaruhi arus listrik yang dihasilkan PLTS, temperatur modul mempengaruhi tegangan yang dihasilkan PLTS, sedangkan *shading* mempengaruhi iradiasi matahari yang diterima modul surya pada proses pembangkitan, yang sekaligus berpengaruh terhadap unjuk kerja PLTS.

Pembangunan PLTS masih memiliki keterbatasan salah satunya adalah keterbatasan penyediaan lahan yang dekat dengan pusat beban atau konsumen. Dalam permasalahan ini salah satu solusi

untuk pembangunan PLTS dapat dilakukan di atas atap gedung (*rooftop*). Sistem ini disebut *rooftop PV system* yang mana penerapan pembangunan panel surya di atas atap gedung dapat dimanfaatkan sebagai pembangkit listrik yang dapat terkoneksi dengan jaringan PLN ataupun langsung dapat dimanfaatkan langsung pada gedung tersebut. Selain itu sistem ini dapat diterapkan di atap bangunan komersil, industri ataupun perumahan.

PLTS dengan *rooftop PV system* ini memiliki keunggulan tersendiri diantaranya memiliki letak teratas dari sebuah gedung yang mana pemanfaatan energi surya lebih maksimal dan meminimalisir penghalang, dan juga lebih mudah untuk diintegrasikan dengan sistem kelistrikan yang sudah ada serta dapat memanfaatkan lahan (luas atap) untuk mengurangi biaya investasi lahan dalam pembangunan PLTS.

II. LANDASAN TEORI

2.1 Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS)

Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) adalah suatu teknologi pembangkit yang mengkonversikan energi foton dari surya menjadi energi listrik. Konversi energi ini terjadi pada modul surya yang terdiri dari sel – sel *Photovoltaic* (PV). Sel – sel ini merupakan lapisan – lapisan tipis dari silikon (Si) murni dan bahan semikonduktor lainnya. Dengan hubungan seri dan paralel, sel PV dapat digabungkan dan membentuk suatu PV *array*. (Dadzie, 2008)

Sistem PLTS *Grid – Connected* atau disebut PLTS *On-Grid* pada dasarnya adalah menggabungkan PLTS dengan jaringan listrik (PLN). Sistem PLTS *Grid – Connected* bertujuan untuk menyediakan listrik yang langsung terhubung dengan jaringan listrik.

2.1.1 Regulasi dan Standar Terkait Pemasangan Sistem PLTS

Berdasarkan SPLN kapasitas terpasang sebesar 30 kWp atau terhubung ke jaringan distribusi tegangan rendah disebut skala residensial, sedangkan kapasitas diatas 30 kWp atau terhubung ke distribusi jaringan tegangan tinggi yaitu skala komersil.

Pemasangan Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) telah diatur didalam Peraturan Direksi PT. PLN (Persero) Nomor 0733.k/DIR/2013 tentang Pemanfaatan Energi Listrik dari Fotovoltaik oleh Pelanggan PT. PLN, sedangkan standar pemasangan diatur dalam SPLN D5.005-1 :2015 tentang Persyaratan Teknis Interkoneksi Sistem Fotovoltaik (PV) pada Jaringan Distribusi Tegangan Rendah.

2.1.2 Standar Pemasangan *Photovoltaic* (PV)

Persyaratan teknis pemasangan sistem *Photovoltaic* terhubung ke jaringan PLN di atur dalam D.5005-1 tahun 2015, standar ini mengacu kepada *International Electrotechnical Commission* (IEC) dan Standar Nasional Indonesia (SNI).

Syarat teknis sistem *Photovoltaic* pada SPLN D.5005-1 tahun 2015 yaitu :

- Besarnya kapasitas PV dalam satuan VA (ekivalen) yang diparalel ke jaringan tegangan rendah (JTR) PLN maksimum 90 % dari besarnya daya kontak.
- Inverter dari PV pelanggan disesuaikan dengan jumlah fase kontak PLN (Pelanggan fase tunggal paralel dengan JTR PLN dengan menggunakan inverter fase tunggal, sedangkan untuk pelanggan fase tiga dengan menggunakan inverter fase tiga).
- Bila pelanggan fase tiga menggunakan 3 buah inverter fase tunggal maka apabila salah satu atau lebih mengalami gangguan, maka sistem proteksi harus bekerja untuk melepas ketiga fasenya.
- Penempatan meter ekspor-impor harus dapat diakses dengan mudah oleh petugas PLN.

2.1.3 Jual Beli Listrik Pelanggan PV

Dalam upaya mendorong percepatan pencapaian pemanfaatan energi baru dan terbarukan, maka perlu mendorong pemanfaatan energi surya untuk Pembangkit Listrik Tenaga Surya. Berdasarkan Peraturan Direksi 0773.K.DIR-2013 :

- PV milik pelanggan dipasang dan diletakkan diatas bangunan milik pelanggan.
- PV dioperasikan secara paralel dengan sistem ketenagalistrikan PLN.
- Pelanggan dapat mengirim kelebihan energi kWh dari PV ke sistem ketenagalistrikan PLN.
- PLN dapat menyediakan informasi energi listrik yang diterima PLN dari PV jika diperlukan.
- PLN memasang jenis kWh meter *Export import* (Exim) untuk pelanggan PLN yang memanfaatkan energi listrik dari PV.
- Energi listrik yang diterima PLN dari PV akan offset dengan energi listrik yang dikirim PLN ke Pelanggan, maka selisihnya menjadi deposit kWh untuk diperhitungkan pada bulan-bulan berikutnya.
- Pelanggan tetap dikenakan Rekening Minimum sesuai daya tersambung PLN.

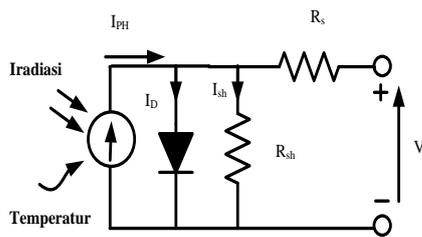
2.2 Panel Surya

Salah satu bentuk sumber energi yang sangat berpotensi untuk masa depan adalah *Photovoltaic* (PV). Ketersediaan energi primer PV tidak terbatas. PV mempunyai karakteristik ramah lingkungan. PV perlu diteliti dan dikembangkan agar menghasilkan konversi energi yang memiliki efisiensi lebih besar. PV terdiri dari bagian kecil yang dinamakan sel surya. PV dihubung seri dan paralel untuk mendapatkan nilai tegangan dan arus yang dibutuhkan (Kosyachenko, 2011). Kumpulan dari banyak sel surya disebut modul PV.

Ketika paket – paket partikel dari sinar matahari membentur sebuah material semikonduktor yang bersifat positif dan negatif, partikel yang disebut *photon* ini akan mentransfer energi karena benturannya terhadap material yang menyebabkan atom – atom material kehilangan elektronnya. Elektron – elektron ini akan bergerak menuju permukaan sehingga permukaan yang berseberangan menjadi bermuatan positif. Apabila diantara kedua permukaan partikel yang berbeda

muatan diletakkan sebuah penghantar, maka benturan partikel *photon* terhadap material berlanjut secara konstan dan kontinyu. Arus elektron akan terus bergerak dengan stabil. Dengan cara tersebut energi listrik diproduksi oleh *photovoltaic* (Kosyachenko, 2011).

Dari benturan *photon* dengan material semikonduktor pada sel *photovoltaic*, menyebabkan *elektron* tereksitasi dan mengalir memungkinkan adanya aliran gaya gerak listrik jika diberi konduktor. Dalam perkembangannya, model PV tidak sesederhana seperti yang diperlihatkan. Ada beberapa parameter yang harus ditambahkan sehingga model PV semakin mendekati dengan kondisi sebenarnya, seperti yang diperlihatkan pada Gambar 1.



Gambar 1 Rangkaian Ekuivalen PV (Ochieng, 2010)

$$I = I_{PH} - I_D \left[e^{q \left(\frac{V + IR_s}{nKT} \right)} - 1 \right] - \left(\frac{V + IR_s}{R_{sh}} \right) \quad (1)$$

Dimana :

- I : Arus keluaran PV (Ampere)
- I_{ph} : Arus *photocurrent* yang tergantung pada suhu
- I_D : Arus saturasi dioda
- Q : Muatan elektron = 1,6×10⁻¹⁹ (Coulomb)
- K : Konstanta Boltzman (Joule/Kelvin)
- T : Temperatur sel (Kelvin)
- R_s : Resistansi terhubung seri (Ohm)
- R_{sh} : Resistansi terhubung paralel (Ohm)
- V : Tegangan luaran PV (Volt)
- N : Faktor kualitas dioda yang bernilai antara 1 dan 2

2.3 Maximum Power Point Tracking (MPPT)

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)

Cara kerja dari MPPT ini adalah dengan mengubah titik operasi atau titik kerja pada kurva karakteristik P-V dari panel surya sehingga sistem

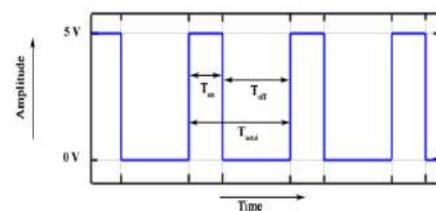
konverter DC-DC dapat memaksa panel surya untuk membangkitkan daya maksimum sesuai kemampuan panel surya pada setiap perubahan level intensitas penyinaran matahari. MPPT bukan pencarian secara mekanis yang menggeser arah modul panel surya sesuai arah matahari akan tetapi mengoptimalkan daya keluaran pada sistem pengendalinya. MPPT sangat penting untuk meningkatkan efisiensi. Pengendalian tegangan MPPT menggunakan *Pulse Width Modulation* atau lebar pulsa melalui rangkaian DC-DC konverter.

2.3.1 Algoritma P&O

Metode *perturb and observe* merupakan metode pendekatan yang banyak digunakan untuk menentukan titik maksimum daya. Metode ini bekerja dengan *perturbing* pada sistem dengan meningkat dan menurunkan tegangan operasi sumber dan *observing* (mengamati) dampaknya pada suplai daya keluaran yang ada di sumber. Seperti yang di jelaskan di atas metode ini terdiri dari dua tahapan, *perturb and observe*. *Perturb* mengirimkan perubahan pada tegangan atau arus referensi dari panel surya. *Observe* melakukan perhitungan daya yang disebabkan oleh *perturb*-nya. Perbandingan daya sebelum dan sesudah proses *perturb* merupakan acuan untuk menambah atau mengurangi tegangan untuk langkah berikutnya dan mendapatkan nilai MPP-nya.

2.4 Pulse Width Modulation

Pulse Width Modulation (PWM) merupakan sebuah cara memanipulasi lebar sinyal yang dinyatakan dengan pulsa dalam satu periode untuk mendapatkan tegangan rata - rata yang berbeda. PWM dicapai atau diperoleh dengan bantuan sebuah gelombang kotak yang mana siklus kerja (*duty cycle*) gelombang dapat diubah – ubah untuk mendapatkan sebuah tegangan keluaran yang bervariasi yang merupakan nilai rata – rata dari gelombang tersebut. PWM bekerja sebagai *switching power suplay* untuk mengontrol *on* dan *off*. Tegangan DC akan dikonversikan menjadi sinyal kotak bolak-balik, saat *on* mendekati tegangan puncak dan saat *off* menjadi nol volt.



Gambar 2 Sinyal PWM

Sinyal PWM pada umumnya memiliki amplitud dan frekuensi dasar tetap, namun memiliki lebar pulsa yang bervariasi. Lebar pulsa PWM berbanding lurus dengan amplitud sinyal asli yang belum termodulasi. Artinya sinyal PWM memiliki frekuensi gelombang yang tetap namun *duty cycle* bervariasi antara 0%-100%. *Duty Cycle* merupakan perbandingan antara pulsa *high* dengan pulsa *low* pada satu gelombang.

Dimana rumus dari *duty cycle* :

$$D = \frac{T_{on}}{T_{on} + T_{off}} \times 100\% \quad (2)$$

Dimana :

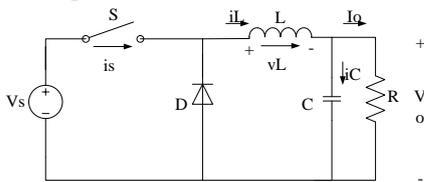
D = *Duty cycle* (lamanya pulsa high dalam satu periode)

T_{on} = Waktu Pulsa Hidup

T_{off} = Waktu Pulsa Mati

2.5 Buck Converter

Konverter DC – DC *step down*, umumnya dikenal sebagai *Buck Converter*, ditunjukkan pada Gambar 2.14. Ini terdiri dari sumber tegangan input DC (V_s), sakelar yang dikendalikan S, dioda D, filter induktor L, kapasitor C, dan resistansi beban R.



Gambar 3 Topologi Buck Converter

Dapat dilihat dari rangkaian bahwa ketika sakelar S diperintahkan ke keadaan aktif, dioda D adalah bias balik. Ketika sakelar S mati, dioda melakukan untuk mendukung arus yang tidak terputus dalam induktor. Hubungan antara tegangan input, tegangan output, dan rasio tugas sakelar D dapat diturunkan. Menurut Hukum Faraday, produk volt-detik induktor selama periode operasi mapan adalah nol. Untuk *Buck Converter*.

$$(V_s - V_o)DT = -V_o(1 - D)T \quad (3)$$

Oleh karena itu, fungsi transfer tegangan dc, didefinisikan sebagai rasio tegangan output ke tegangan input, adalah

$$M_v = \frac{V_o}{V_s} = D \quad (4)$$

Itu bisa dilihat dari Persamaan. (2.5) bahwa tegangan output selalu lebih kecil dari tegangan input.

Konverter dc-dc dapat beroperasi dalam dua mode yang berbeda berkenaan dengan arus induktor i_L. Gambar 2.15b menggambarkan CCM di mana arus induktor selalu lebih besar dari nol. Ketika nilai rata-rata arus keluaran rendah (R tinggi) dan = atau frekuensi switching f rendah, konverter dapat memasuki mode konduksi terputus (DCM). Dalam DCM, arus induktor adalah nol selama sebagian dari periode *switching*. CCM lebih disukai untuk efisiensi tinggi dan pemanfaatan sakelar semikonduktor dan komponen pasif yang baik. DCM dapat digunakan dalam aplikasi dengan persyaratan kontrol khusus karena urutan dinamis konverter berkurang (energi yang tersimpan dalam induktor adalah nol pada awal dan pada akhir setiap periode *switching*). Ini tidak umum untuk mencampur dua mode operasi ini karena algoritma kontrol yang berbeda. Untuk *buck converter*, nilai induktansi filter yang menentukan batas antara CCM

dan DCM diberikan oleh. (Rashid, 2001)

$$L_b = \frac{(1 - D)R}{2f} \quad (5)$$

Kapasitansi filter C harus lebih besar dari

$$C_{min} = \frac{(1-D)V_o}{8V_r L f^2} \quad (6)$$

Persamaan (2.6) dan (2.7) adalah persamaan desain utama untuk konverter buck. Tegangan dc input dan output (karenanya, rasio tugas D), dan kisaran resistensi beban R biasanya ditentukan oleh spesifikasi awal. Perancang perlu menentukan nilai komponen pasif L dan C, dan frekuensi switching f. Nilai induktor filter L dihitung dari kondisi CCM = DCM menggunakan Persamaan. (2.6). Nilai kapasitor filter C diperoleh dari kondisi riak tegangan Persamaan. (2.7).

2.6 Inverter

Inverter adalah suatu alat yang berfungsi untuk mengubah arus searah (DC) menjadi arus bolak – balik (AC). Pada PLTS, inverter berfungsi sebagai pengkondisi tenaga listrik (*Power Condition*) dan sistem kontrol yang merubah arus listrik DC yang dihasilkan oleh modul surya menjadi listrik AC, yang kemudian akan mengontrol kualitas daya listrik yang dikeluarkan untuk dikirim ke beban atau jaringan listrik. Terdapat dua macam sistem inverter pada PLTS yaitu inverter fasa untuk *Solar Home System* (SHS) yang bebannya kecil dan inverter 3 fasa untuk sistem PLTS yang besar dan terhubung dengan jaringan PLN (Putra, 2015).

2.7 Efisiensi Daya

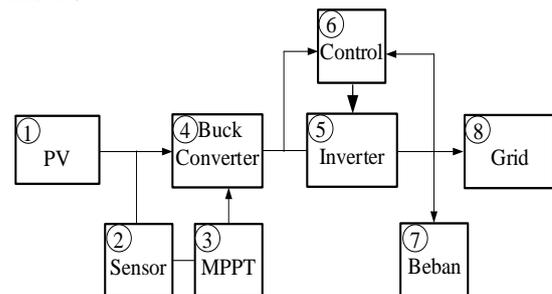
Efisiensi daya merupakan suatu nilai yang menyatakan seberapa persen penyaluran daya dari *input* rangkaian dengan daya pada *output*. Jika efisiensi seratus persen maka daya pada *input* tersalurkan dengan sempurna pada sisi *output* rangkaian. Efisiensi dicari dengan membagi daya *output* rangkaian dan daya *input* sehingga dapat dituliskan dengan Persamaan 2.42 (Rashid, 2001).

$$\eta = \frac{P_{out}}{P_{in}} \times 100\% \quad (7)$$

III. METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Blok Diagram Rancangan Sistem

Blok diagram rancangan sistem yang digunakan dalam penelitian ini dapat dilihat pada gambar 5.



Gambar 4 Blok Diagram Rancangan Sistem

Tabel 1 Parameter Komponen *Buck Converter*

Parameter	Nilai
Pmax	18 kWp
Vin	447.8 Vdc
Vout	400 Vdc
Iin	40.04 A
Iout	44 A
Frekuensi <i>switching</i>	20 KHz
Riak tegangan	0.01 V

Mencari nilai tahanan resistor yang digunakan dengan persamaan seperti berikut.

$$R = \frac{V_s}{I_s}$$

$$R = \frac{447.8}{40.04} = 11.18 \Omega$$

Mencari besar fungsi transfer tegangan DC yang dapat dilihat dengan menggunakan Persamaan 4 yaitu.

$$M_{VDC} = \frac{V_o}{V_s} = D$$

$$M_{VDC} = \frac{V_o}{V_s}$$

$$M_{VDC} = \frac{400}{447.8} = 0.89 \%$$

Kemudian dapat dicari nilai dari induktor *buck converter* yang akan digunakan dengan menggunakan persamaan 5.

$$L_b = \frac{(1-D)R}{2f}$$

$$L_b = \frac{(1-0.89)11.18}{2 \times 20000} = 2.985 \times 10^{-5} \text{ H}$$

Dan untuk mengurangi riak tegangan dari proses *switching*, digunakan sebuah kapasitor yang mana dapat dicari menggunakan Persamaan 6 berikut.

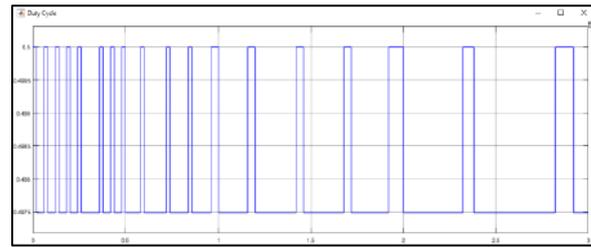
$$C_{min} = \frac{(1-D)V_o}{8V_r L_f^2}$$

$$C_{min} = \frac{(1-0.89) 400}{8 \times 0.01 \times 0.00002985 \times 20000^2} = 0.00447 \text{ F}$$

Dengan perhitungan yang dilakukan didapati nilai parameter yang membentuk rangkaian *Buck Converter*, nilai induktor, kapasitor dan frekuensi *switching* dari rangkaian dirangkum dalam Tabel 2 berikut.

Tabel 2 Parameter Komponen *Buck Converter*

Parameter	Nilai
Induktor	2.98564e-5 H
Kapasitor	0.0044713405 F
Frekuensi <i>switching</i>	20 KHz



Gambar 9 Duty Cycle dari *Buck Converter*

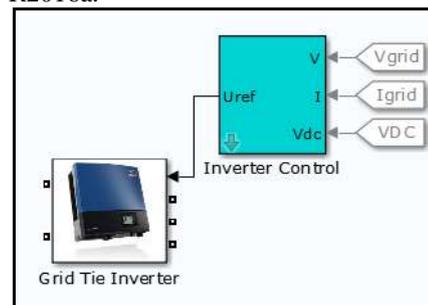
3.5 Perancangan Inverter (*Grid Tie Inverter*)

Sistem solar sel menggunakan GTI sebagai converter arus searah yang dihasilkan solar sel menjadi arus bolak-balik untuk mensuplai beban karena GTI dapat mensinkronkan tegangan dan frekuensi keluarannya dengan jaringan listrik yang sudah ada. Pada saat GTI tidak mensuplai beban, daya yang dihasilkan dapat dijual sesuai ketentuan yang telah ada karena daya tersebut akan dikirmkan kembali ke jaringan PLN. Hal terpenting dari GTI adalah kemampuannya untuk terhubung langsung dengan sumber tegangan arus searah yang berasal dari energi terbarukan. Selain itu, pemasangan GTI juga sangat mudah dan sederhana karena tidak memerlukan pengaturan parameter tertentu. GTI yang digunakan pada penelitian ini memiliki kapasitas sebagai berikut :

Tabel 3 Spesifikasi Inverter Merk SMA 20 kW
SPESIFIKASI INVERTER MERK SMA 20 kW

INPUT	
Max. DC Power	20440 W
MPP voltage range / rated input voltage	380 V to 800 V / 600 V
Min. input voltage / start input voltage	150 V / 188 V
Max. input Current input A/input B	43 / 43 A
OUTPUT	
Rated power (at 230 V, 50 Hz)	20000 W
Max. AC apparent power	20000 VA
Max. efficiency / European Efficiency	98.4 % / 98.0 %

Berdasarkan *data sheet* diatas maka perancangan sistem PLTS menyesuaikan dengan parameter dari inverter tersebut. Pada penyajian Gambar 3.9 merupakan Inverter yang digunakan pada penelitian yang diambil pada *library* yang tersedia di *software* Matlab R2016a.

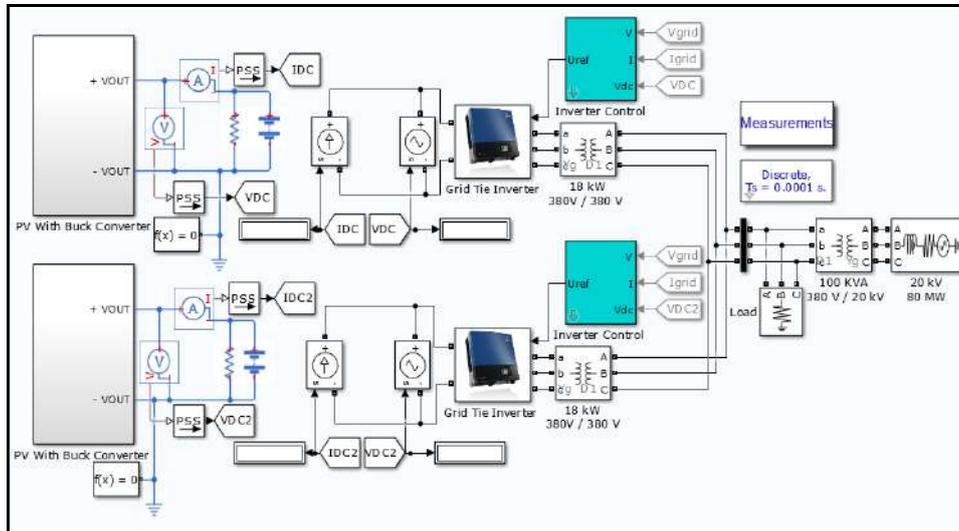


Gambar 10 *Grid Tie Inverter*

IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Blok Diagram System

Setelah dilakukan perancangan tiap-tiap komponen pada bab 3 selanjutnya digabungkan menjadi kesatuan Blok Diagram System seperti terlihat pada Gambar 11.



Gambar 11 Blok Diagram System PLTS Rooftop On Grid

Pada Gambar 11 merupakan hasil penggabungan tiap-tiap bagian yang sudah dirancang pada bab 3 menjadi sebuah system, Pada Tabel 4, dan 5 dilihat parameter dari PV dan Buck Converter pada Matlab R2016a.

Tabel 4 Parameter PV 2 sistem Pada Matlab R2016a

Pmax (Maximum Power)	35.864 Wp
Vmp (Voltage at Pmax)	447.4 Vdc
Imp (Current at Pmax)	80.1 A
Voc (Open Circuit Voltage)	538.8 Vdc
Isc (Short Circuit Current)	84.6 A
Modul Terhubung Seri	12
Modul Terhubung Paralel	12
Jumlah Modul PV	144

Tabel 5 Parameter Buck Converter Pada Matlab R2016a

Parameter	Nilai
Pmax	35.864 Wp
Vin	447.4 Vdc
Vout	400 Vdc
Iin	40.04 A
Iout	44 A
Induktor	2.985e-5 H
Kapasitor	0.00447 F
Frekuensi switching	20 KHz

Pada penelitian ini inverter yang digunakan untuk simulasi menggunakan inverter tools yang telah disediakan oleh software Matlab R2016a dengan parameter dari inverter menyesuaikan dengan inverter yang beredar dipasaran. Untuk spesifikasi dari inverter dapat dilihat pada Tabel 6.

Tabel 6 Spesifikasi Inverter Merk SMA 20 kW

SPESIFIKASI INVERTER MERK SMA 20 kW	
INPUT	
Max. DC Power	20440 W
MPP voltage range/rated input voltage	380to800/600 V
Min. input voltage / start input voltage	150/188 V
Max. input Current input A / input B	43A /43 A
OUTPUT	
Rated power (at 230 V, 50 Hz)	20000 W
Max. AC apparent power	20000 VA
Max. efficiency / European Efficiency	98.4 % / 98.0 %

Selanjutnya bagian dari system PLTS ini adalah Grid atau jaringan listrik. Untuk jaringan listrik pada penelitian ini diilustrasi dari sistem distribusi 20 kV dengan pembangkit sebesar 30 KW. Bagian terakhir dari system ini adalah beban, pada penelitian ini Gedung Laboratorium Teknik Elektro Universitas Riau sebagai objek dari beban untuk simulasi system PLTS On-Grid, dan gedung ini dianggap memiliki beban sebesar 35 KW.

4.2 Pengujian PLTS PV 1 Array Off-Grid Beban 15 kW

Pada pengujian PLTS 1 sistem ini dimaksud untuk melihat keluaran yang dihasilkan PV, converter dan inverter. Hasil keluaran dari 1 sistem PLTS ini berdasarkan juga perubahan kondisi iradiasi yang dimulai pada radiasi 1000 W/m², 800 W/m², 400 W/m² dan 200 W/m².

Tabel 7 Hasil Simulasi PV 1 Array Off-Grid

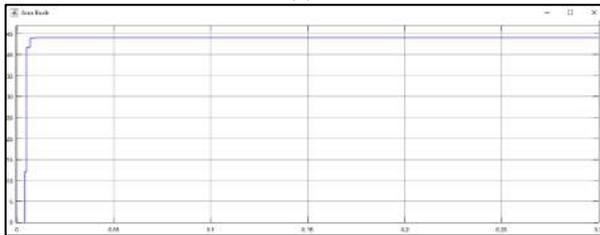
Iradiasi (W/m ²)	Tegangan (V)	Arus (A)	Daya (Wp)
1000	447.8	40.03	17.925
800	443.2	35.2	15.600
400	430.9	15.3	6.592
200	410.3	8.4	3.446

Tabel 7 menampilkan nilai tegangan, arus dan daya yang dihasilkan dari simulasi PLTS 1 sistem beban 15 kW dengan kondisi iradiasi 1000 W/m² sampai 200 W/m². Pada kondisi iradiasi 1000 W/m² menghasilkan daya puncak sebesar 17.925 Wp dengan tegangan 447.8 Volt (V) dan arus 40.03 Ampere (A). Kondisi radiasi yang berbeda menghasilkan daya yang berbeda juga, semakin kecil iradiasi yang diterima PV semakin kecil pula daya yang dihasilkan. Pada tabel juga bisa dilihat tegangan mengalami penurunan pada saat jumlah iradiasi berkurang. Arus yang mengalami penurunan yang signifikan.

Selanjutnya keluaran dari PV menjadi masukan bagi *Buck Converter* dan hasil keluaran dari *converter* pada kondisi iradiasi 1000 W/m² dapat dilihat pada Gambar 12 a dan b.



(a)

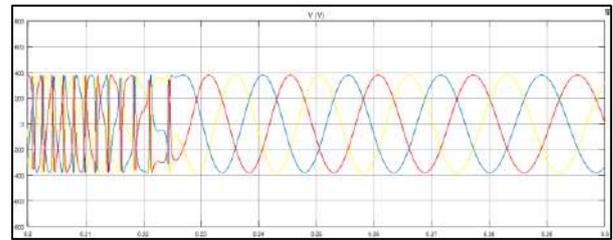


(b)

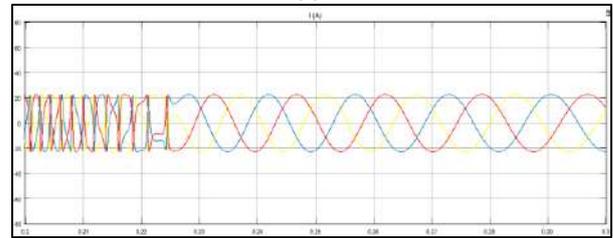
Gambar 12 (a) Gelombang Tegangan (b) Gelombang Arus dari *Buck Converter* PV 1 Array Off-Grid Beban 15 kW Kondisi Iradiasi 1000 W/m²

Gambar 12 a dan b dapat dilihat tegangan dan arus dari keluaran PV yang masuk ke *converter* dan disesuaikan dengan keluaran yang diinginkan *converter* tersebut, yang mana pada kondisi iradiasi 1000 W/m² tegangan yang dihasilkan 400 V dan arus 44 A dengan begitu daya yang dihasilkan 17.600 W.

Setelah melewati *converter* selanjutnya masuk inverter untuk mengkonversi arus searah yang dihasilkan PV menjadi arus bolak – balik, simulasi sistem PLTS 1 sistem disini seperti yang sudah dijelaskan sebelumnya di beri beban 15 kW. Gambar 13 a dan b menampilkan keluaran tegangan dan arus dari inverter pada kondisi radiasi 1000 W/m².



(a)



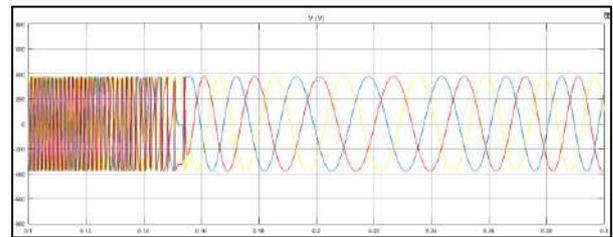
(b)

Gambar 13 (a) Gelombang Tegangan (b) Gelombang Arus dari Inverter PV 1 Array Off-Grid Beban 15 kW Kondisi Iradiasi 1000 W/m²

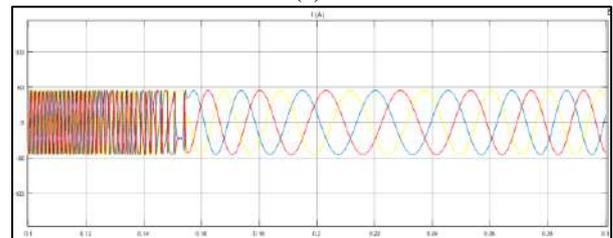
Gambar 13 a dan b merupakan gelombang keluaran dari tegangan dan arus inverter dari PLTS 1 sistem, dengan beban 15 kW pada saat iradiasi 1000 W/m² menghasilkan tegangan 380 V dengan arus 22.8 A dan bisa juga dilihat pada gelombang tegangan dan arus diatas pada waktu simulasi dimulai sampai 0.22 detik gelombang yang dihasilkan belum murni sinusoidal, setelah 0.23 gelombang dihasilkan inverter murni sinusoidal.

4.3 Pengujian PLTS PV 2 Array Off-Grid Beban 30 kW

Untuk hasil keluaran dari PV dan *Buck Converter* memiliki hasil keluaran, jadi pada pengujian ini hanya ditampilkan keluaran yang dihasilkan dari inverter. Gambar 14 a dan b menampilkan keluaran tegangan dan arus dari inverter pada kondisi radiasi 1000 W/m².



(a)



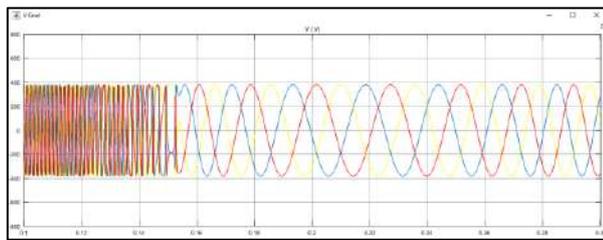
(b)

Gambar 14 (a) Gelombang Tegangan (b) Gelombang Arus dari Inverter PLTS Beban 30 kW Kondisi Iradiasi 1000 W/m²

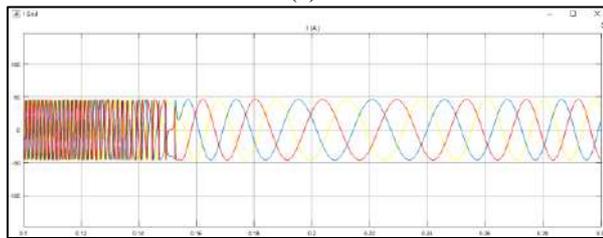
Gambar 14 a dan b merupakan gelombang keluaran dari tegangan dan arus inverter dari PLTS, dengan beban 30 kW pada saat iradiasi 1000 W/m² menghasilkan tegangan 380 V dengan arus 45.6 A.

4.4 Pengujian PLTS PV 2 Array On-Grid Beban 30 kW

Untuk hasil keluaran dari PV dan *Buck Converter* memiliki hasil keluaran, jadi pada pengujian ini hanya ditampilkan keluaran yang dihasilkan dari inverter. Gambar 15 a dan b menampilkan keluaran tegangan dan arus dari inverter pada kondisi radiasi 1000 W/m².



(a)



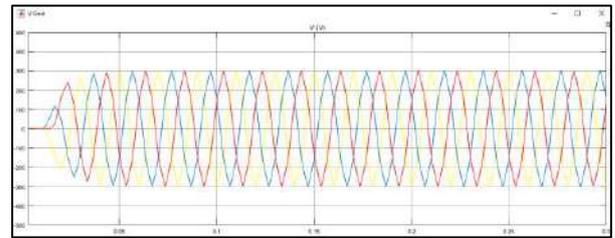
(b)

Gambar 15 (a) Gelombang Tegangan (b) Gelombang Arus dari Inverter Simulasi PLTS Terkoneksi Jaringan Kondisi Iradiasi 1000 W/m²

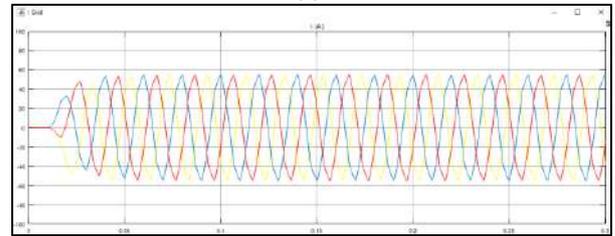
Gambar 15 a dan b keluaran dari tegangan dan arus inverter simulasi PLTS Terkoneksi Jaringan dan tersambung dengan beban 30 kW pada saat iradiasi 1000 W/m² menghasilkan tegangan 380 V dengan arus 45.6 A dan bisa juga dilihat pada gelombang tegangan dan arus diatas pada waktu simulasi dimulai sampai 0.15 detik gelombang yang dihasilkan belum murni sinusoidal, setelah 0.16 gelombang dihasilkan inverter murni sinusoidal.

4.5 Pengujian PLTS PV 2 Array On-Grid Beban 60 kW

Pada simulasi pengujian PLTS yang terakhir ini dimaksud untuk melihat keluaran yang dihasilkan PV, *converter* dan inverter yang sudah terkoneksi ke jaringan listrik dengan sistem PV juga tersambung dengan beban 60 kW. Beban diberikan lebih besar dari sistem PLTS guna melihat hasil yang terjadi jika beban lebih besar dari daya dan nantinya akan dibantu oleh jaringan. Tabel 16 merupakan hasil keluaran Inverter dari simulasi PLTS *On-Grid*.



(a)

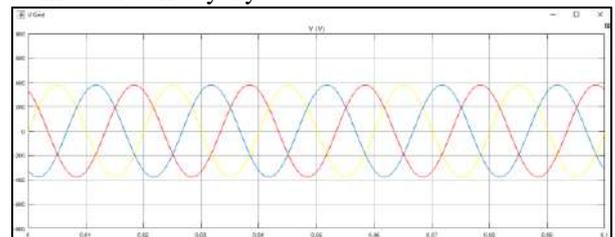


(b)

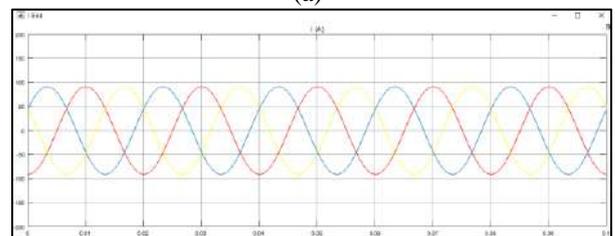
Gambar 16 (a) Gelombang Tegangan (b) Gelombang Arus dari Inverter Simulasi PLTS *On-Grid* Kondisi Iradiasi 1000 W/m²

Gambar 16 a dan b merupakan gelombang keluaran dari tegangan dan arus inverter dari simulasi PLTS *On-Grid* dengan beban 60 kW pada saat iradiasi 1000 W/m², karena beban lebih besar dari pada daya PV yang dihasilkan oleh sistem mengakibatkan hasil dari keluaran inverter mengalami drop atau jatuh nilai tegangan maupun arus dan gelombang yang dihasilkan dari inverter juga tidak menghasilkan murni sinusoidal. Selanjutnya karena kelebihan beban sistem PV terlepas dari beban secara manual.

Pada Gambar 17 a dan b dapat dilihat hasil keluaran dari jaringan listrik yang menggantikan sistem PV yang tidak mampu untuk mensuplai beban yang lebih besar dari dayanya.



(a)



(b)

Gambar 17 (a) Gelombang Tegangan (b) Gelombang Arus dari Jaringan PLN Simulasi PLTS *On-Grid*

Gambar 17 a dan b merupakan gelombang keluaran dari tegangan dan arus dari Grid PLN pada simulasi PLTS *On-Grid* dengan beban 60 kW yang menghasilkan tegangan 380 V dengan arus 91.17 A .

4.6 Efisiensi Buck Converter

Efisiensi merupakan suatu nilai yang menyatakan seberapa persen penyaluran daya dari *input* rangkaian dengan daya pada *output*. Jika efisiensi seratus persen maka daya pada *input* tersalurkan dengan maksimal pada sisi *output* rangkaian. Efisiensi dari *Buck Converter* diamati pada saat simulasi Pengujian PLTS dengan 2 *Array On-Grid* Beban 60 KW. Hasil dari masukan yaitu PV dan keluaran rangkaian *buck converter* dapat dilihat pada Tabel 8.

Tabel 7 Input dan Output dari Buck Converter

Iradiasi (W/m ²)	Daya Input (W)	Daya Output (W)
1000	35.816	35.200
800	31.378	30.594
400	13.093	6.899
200	7.057	3.326

Dari Tabel 7 dijadikan referensi untuk menghitung efisiensi daya dari *Buck Converter* yang dihasilkan pada pengujian simulasi PLTS dengan 2 *Array On-Grid* Beban 60 KW Pada saat Iradiasi 1000 W/m² sampai 200 W/m². Dengan menggunakan persamaan (7) yaitu :

$$\eta = \frac{P_{out}}{P_{in}} \times 100\%$$

$$\eta = \frac{35.200}{35.816} \times 100\% = 98.2 \%$$

$$\eta = \frac{30.594}{31.378} \times 100\% = 97.4 \%$$

$$\eta = \frac{6.899}{13.093} \times 100\% = 59.1 \%$$

$$\eta = \frac{3.326}{7.057} \times 100\% = 59 \%$$

4.7 Efisiensi Inverter

Efisiensi dari Inverter diamati pada saat simulasi Pengujian PLTS dengan 2 *Array On-Grid* Beban 30 kW pada saat iradiasi 1000 W/m² dan 800 W/m². Hasil dari masukan yaitu *Buck Converter* dan keluaran rangkaian inverter dapat dilihat pada Tabel 8.

Tabel 8 Input dan Output dari Inverter

Iradiasi (W/m ²)	Daya Input (W)	Daya Output (W)
1000	35.200	30.210
800	30.594	30.260

Dari Tabel 4.8 dijadikan referensi untuk menghitung efisiensi daya dari Inverter yang dihasilkan pada pengujian simulasi PLTS dengan 2 *Array On-Grid* Beban 30 kW Pada saat Iradiasi 1000 W/m² dan 800 W/m². Dengan menggunakan persamaan (7) yaitu :

$$\eta = \frac{30.210}{35.200} \times 100\% = 85.8 \%$$

$$\eta = \frac{30.260}{30.594} \times 100\% = 98.9 \%$$

Dari hasil perhitungan diatas dapat dilihat efisiensi dari inverter pada saat iradiasi 1000 W/m² dan 800 W/m² dengan efisiensi 85% dan 98.9 %. Dikarenakan perubahan kondisi radiasi yang mempengaruhi daya dari sistem PLTS.

V. SIMPULAN DAN SARAN

5.1 Simpulan

Berdasarkan desain, perancangan dan pengujian yang telah dilakukan, maka dapat diambil kesimpulan sebagai berikut :

1. Berdasarkan desain bagian atap Gedung Laboratorium Teknik Elektro Universitas Riau jika dimanfaatkan dengan meletakkan PV dengan satuan 250 Wp dan dengan total PV yang disa di letakkan berdasarkan luas atap gedung tersebut yaitu 144 PV dengan ini dapat menghasilkan daya 36 kWp.
2. berdasarkan hasil simulasi PLTS, dengan kondisi iradiasi yang bervariasi mulai iradiasi 200 W/m², 400 W/m², 800 W/m² dan 1000 W/m² dapat mempengaruhi keluaran dari PV, iradiasi PV berbanding lurus dengan arus yang dihasilkan. Sehingga mengakibatkan perubahan tegangan, arus dan daya pada hasil keluarannya terhadap konverter dan jaringan.
3. Berdasarkan pengujian dengan kondisi iradiasi yang berbeda diamati bahwa daya yang dihasilkan menurun ketika iradiasi semakin kecil. Tegangan mengalami penurunan pada saat jumlah iradiasi berkurang. Nilai yang mengalami penurunan secara signifikan adalah nilai arus. Arus yang dihasilkan PV akan berkurang sesuai dengan jumlah iradiasi yang diterima. Jumlah iradiasi yang diterima mempengaruhi jumlah daya keluaran dari PV.
4. PV dengan iradiasi 1000 W/m² menghasilkan daya 35,8 kW sebelum menggunakan MPPT P&O. Setelah menggunakan MPPT P&O daya yang dihasilkan sebesar 35,2 kW. Algoritma P&O berfungsi dengan baik dalam pengoptimalan daya. Efisiensi rangkaian konverter yang dihasilkan 98 %. Begitu juga dengan iradiasi selanjutnya, MPPT P&O tetap menjaga agar daya *output* selalu bearda pada daya puncak sesuai dengan *input* yang diberikan.
5. Sitem PLTS bekerja ketika beban masih lebih kecil dari pada dayanya dan ketika beban lebih besar dari daya PLTS maka sistem akan terlepas dari beban secara manual dan sistem Jaringan atau Grid masuk untuk menggantikan.

5.2 Saran

Penelitian ini masih terdapat kekurangan sehingga perlu dilanjutkan dan dikembangkan. Skripsi ini dapat dilanjutkan dengan melakukan penelitian :

1. Penulis berharap pada penelitian selanjutnya menganalisa dari segi teknis, ekonomi, emisi dan anggaran biaya produksi dari perancangan PLTS *Rooftop On Grid*.

2. Penulis berharap pada penelitian selanjutnya melakukan simulasi dengan besaran beban berbeda – beda.

DAFTAR PUSTAKA

- Abdalla Y.Mohammed, F. L. (2017). Grid Connected Photovoltaic System. *International Conference on Communication, Control, Computing and Electronics Engineering (ICCCCEE)*.
- Bhatia, S. (2014). Advanced Renewable Energy System: Part 1. New Delhi, India: Woodhead Publishing India Pvt Ltd.
- Dadzie, F. y. (2008). *Design of a Grid Connected Photovoltaic System for Knust and Economic and Enviromental Analysis of the Designed System*. India: Faculty of Computer and Electrical Engineering, College of Engineering.
- Elieser Tarigan, D. F. (2018). Techno-economic Simulation of a Grid-connected PV System Design as Specifically Applied to Residential in Surabaya, Indonesia. *Conference and Exhibition Indoensia - New and Renewable Energy and Energy Conervation (The 3rd Indo EBTKE-ConEx2014)* (pp. 90-99). Surabaya: Sciencedirect.
- ESDM. (2020, 10 23). *PLTS Rooftop Untuk Gedung Perkantoran*. Retrieved from ESDM: <http://ebtke.esdm.go.id/post/2015/03/11/800/plts.rooftop.untuk.gedung.perkantoran>
- Hari Agus Sujono, R. S. (2017). Maximum Power Point Tracker Menggunakan Algoritma Hill Climbing pada Photovoltaic. *Prosiding Seminar Nasional Teknologi Elektro Terapan*, Vol.01 No.01, ISSN:2581-0049.
- Harmini, T. N. (2017). Desain Rooftop Off Grid Panel Solar Photovoltaic. *Pengembangan Rekayasa dan Teknologi*, 47-51.
- Hart, D. W. (2010). *Power Electronics*. New York: Mcgraw Hill.
- 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.
- Kosyachenko, L. A. (2011). *Solar Cell - Silicon Wafer - Based Technologies/*. Croatia: InTech.
- Luis Hernandez-Callejo, S. G.-S.-G. (2019). A Review of Photovoltaic Systems: Design, Operation and Maintenance . *Solar Energy* , 426-440.
- Nguyen, X. H. (2015). Mathematical Modeling of Photovoltaic Cell/Module/Arrays with tags in Matlab/Simulink. *Environmental Systems Research*, 4-24.
- Ochieng, R. M. (2010). *Solar Collectrors and Panels, Theory and Applications*. Rijeka Croatia: Intech.
- PT. PLN.(PERSERO). (2014). *Pedoman Penyambungan Pembangkit Listrik Energi Terbarukan ke Sistem Distribusi PLN*.
- Rashid, M. H. (2001). *Power Electronics Hand Bool*. California: Academic Press.
- Setiawan, A. (2014). Analisis Unjuk Kerja Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) Satu Mwp Terinterkoneksi Jaringan di Kayubih. *Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Udayana*.