

# ALGORITMA SISTEM KOORDINASI PEMBANGKIT LISTRIK HIBRID PV-GENERATOR 3 FASA

Agus wahyudi<sup>1)</sup>, Antonius Rajagukguk<sup>2)</sup>, Iswadi Hasyim Rosma<sup>3)</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 Binawidya Jl. H.R Soebrantas Km 12,5 Simpang Baru Panam, Pekanbaru, Riau 28293

E-mail : [Agus.wahyudi@student.unri.ac.id](mailto:Agus.wahyudi@student.unri.ac.id)

## ABSTRACT

The need for electrical energy is increasing along with population growth and increasing community activities, so it is necessary to add new energy sources to reduce fossil resources. One alternative renewable energy is solar energy using photovoltaic (PV). However, so that the load can still be supplied optimally, one alternative solution is to use a hybrid generator technique. Hybrid system is the concept of combining two or more energy sources. One of the hybrid power plants that has the potential to be developed is a combination of PV and generator. This research makes a hybrid PV-generator generating system to serve the maximum load and complement each other's shortcomings and add a battery as an additional generator. This research creates a coordination of generators to interact with each other between generators to serve load patterns in a structured and simulated manner in MATLAB 2016a. The design of the hybrid power plant is PV with 58 kwp power, 30 kAh battery and 25 kva generator. The results in this study show the performance of each generator when serving the load. Loads of 10 kw, 20 kw and 30 kw are supplied by PV and batteries. At peak load, the load is supplied by a hybrid PV-generator or battery-generator. From the simulation results show that the generator is able to overcome any given load with a given coordination system.

Keywords : Photovoltaic (PV), Hybrid, generator, load, Matlab 2016a

## I. PENDAHULUAN

Kebutuhan energi listrik semakin besar seiring pertambahan penduduk dan meningkatnya aktivitas masyarakat. Pertambahan ini harus diimbangi dengan penambahan sumber-sumber energi baru. Sebagian besar energi yang kita gunakan sekarang berasal dari fosil, tidak bisa diperbaharui dan akan habis jika kita gunakan secara terus menerus. Sehingga manusia dituntut untuk mencari sumber-sumber energi lain yang sebisa mungkin dapat diperbaharui. Sumber energi terbarukan diharapkan memiliki peran aktif dalam skenario diverifikasi energi di masa yang akan datang (Anjas,2013).

Sumber energi terbarukan dapat digunakan untuk menghasilkan sistem pembangkit primer dan sumber energi yang mendukung pembangkit utama. Salah satu energi terbarukan yang digunakan untuk sistem pembangkit adalah energi matahari menggunakan *photovoltaic* (PV). Energi surya merupakan sumber energi terbarukan yang tidak mencemari lingkungan. Panel surya sebagai sumber terbarukan karena memiliki kelebihan, seperti tidak adanya biaya bahan bakar, sedikit perawatan, tidak ada suara, dan tidak adanya bagian yang bergerak. Namun efisiensi konversi energi aktual modul PV sedikit

rendah dan dipengaruhi oleh kondisi cuaca dan beban yang digunakan serta hanya bisa digunakan pada siang hari (Soedibyo,2016).

Salah satu solusi alternatif dari dampak negatif sistem pembangkit konvensional yaitu dengan teknik pembangkit hibrid. Sistem hibrid merupakan konsep penggabungan dua atau lebih sumber energi yang berbeda untuk memenuhi kebutuhan beban yang ada. Salah satu sistem pembangkit listrik hibrid yang berpotensi untuk dikembangkan adalah kombinasi antara sel surya (*Photovoltaic*) dengan diesel generator. Hal tersebut dilakukan untuk memanfaatkan sumber energi surya yang sangat memumpuni dan mengurangi penggunaan bahan bakar serta pencemaran lingkungan yang dihasilkan dari diesel generator. Dalam sistem pembangkit listrik tenaga surya, generator diesel merupakan komponen wajib yang harus diikutsertakan dalam sistem ini untuk membangkitkan daya selama periode dimana radiasi matahari sangat rendah atau tidak ada sama sekali, menyuplai permintaan beban serta untuk mengurangi ukuran array dan *battery bank* (Dhear,2016).

Berdasarkan latar belakang diatas, peneliti akan melakukan penelitian dengan judul "Desain Algoritma Sistem Koordinasi Pembangkit Listrik Hibrid PV-Generator 3 Fasa". Dimana pembangkit PV sebagai

pembangkit utama dan generator sebagai pembangkit bantuan untuk mengatasi permintaan beban, serta menggunakan baterai digunakan untuk menggantikan peran PV ketika malam hari dan mendapatkan daya dari PV ketika siang hari. Desain Pembangkit listrik hibrid PV-generator ini akan disimulasikan pada *software* Matlab.

## II. LANDASAN TEORI

### 2.1 Photovoltaic (PV)

*Photovoltaic* (PV) merupakan suatu sistem 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).

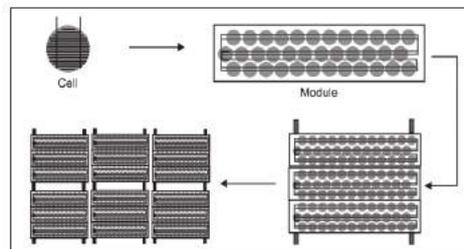
Dari benturan *photon* dengan material semikonduktor pada sel *photovoltaic*, menyebabkan *elektron* tereksitasi dan mengalir memungkinkan adanya aliran gaya gerak listrik jika diberi konduktor. Dalam perkembangannya, model PV tidak sesederhana seperti yang diperlihatkan. Ada beberapa parameter yang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

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).

Untuk mendapatkan besaran arus dan tegangan dalam skala besar dibutuhkan pembangkit PV skala besar yang tersusun dari serangkaian modul PV yang dirangkai dengan kombinasi seri-paralel. Karakteristik modul PV mengikuti karakteristik dari tahanan tiap sel PV jika terkena radiasi matahari. Adanya cakupan area pembangkit PV skala besar yang cukup luas menyebabkan ketidakseragaman radiasi yang diterima oleh modul-modul pada PV *array*. Hal tersebut dapat disebabkan oleh pergerakan awan, bayangan bangunan disekitar PV, pohon, debu, kotoran, tahi burung dan lainnya. Penyebab ketidakseragaman tersebut akan

menyebabkan bayangan (*shading*) yang tidak merata pada modul-modul PV *array*, sehingga memberikan karakteristik yang tidak non-linear (Mohammadmehdi Seyedmahmoudian, 2013). Karakteristik daya-tegangan (P-V) dan arus-tegangan (I-V) menggambarkan perilaku arus, tegangan dan daya dari modul, *string* dan PV *array* (Bhatia, 2014).



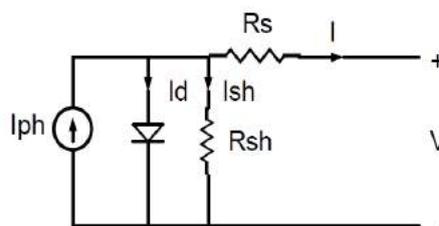
**Gambar 1** Sel, Modul, *String*, dan *Photovoltaic Array* (Bhatia, 2014)

Pemodelan sederhana yang mencerminkan fungsi sel PV adalah dengan menggunakan satu sumber arus, dioda, resistansi seri dan resistansi paralel dapat dilihat pada gambar 2 Adapun pemodelan tersebut dapat dimodelkan secara matematis oleh persamaan 1 (Hossain, 2013)

$$I = I_{ph} - I_0 \left( \exp \left( \frac{qV + IR_s}{kT} \right) - 1 \right) - \frac{V + IR_s}{R_{sh}} \quad (1)$$

dimana :

- I : arus keluaran PV (ampere)
- $I_{ph}$  : arus akibat efek *photocurrent* PV (ampere)
- $I_0$  : arus saturasi dioda pada temperatur tertentu (ampere)
- q : muatan elektron (coulomb)
- V : perbedaan tegangan antar terminal sel (volt)
- $R_s$  : resistansi seri (ohm)
- k : konstanta *Boltzman* (joule/kelvin)
- T : temperatur sel PV (kelvin)
- $R_{sh}$  : resistansi paralel (ohm)



**Gambar 2** Rangkaian Ekuivalen Sel Surya (Hossain, 2013)

Untuk menghasilkan daya yang dibutuhkan sesuai kebutuhan pada pembangkit diperlukan penyusunan modul PV yang tepat. Untuk memperbesar daya keluaran yang dapat dihasilkan dari pembangkit PV dapat dilakukan penyusunan modul PV secara seri-paralel. Dalam penyusunan secara seri-paralel perhitungan tegangan dan arus harus dilakukan. Untuk perhitungan nilai arus dan tegangan dapat dihitung melalui perhitungan matematis rangkaian listrik. Rangkaian secara seri akan menghasilkan tegangan total seperti persamaan 2 dan

untuk rangkaian secara paralel akan menghasilkan tegangan total seperti persamaan 3 Sedangkan untuk nilai arus total pada rangkaian secara seri seperti persamaan 4 dan untuk arus total pada rangkaian secara paralel seperti persamaan 5 berikut (William,2005).

$$V_{total} = V_1 + V_2 + V_3 + \dots + V_n \quad (2)$$

$$V_{total} = V_1 = V_2 = V_3 = V_n \quad (3)$$

$$I_{total} = I_1 = I_2 = I_3 = I_n \quad (4)$$

$$I_{total} = I_1 + I_2 + I_3 + \dots + I_n \quad (5)$$

Keterangan :

$V_{total}$  = nilai tegangan total dari rangkaian modul (volt)

$V_1$  = nilai tegangan dari modul PV 1 (volt)

$V_2$  = nilai tegangan dari modul PV 2 (volt)

$V_3$  = nilai tegangan dari modul PV 3 (volt)

$V_n$  = nilai tegangan dari modul PV ke-n (volt)

$I_{total}$  = nilai arus total dari rangkaian modul (ampere)

$I_1$  = nilai arus dari modul PV 1 (ampere)

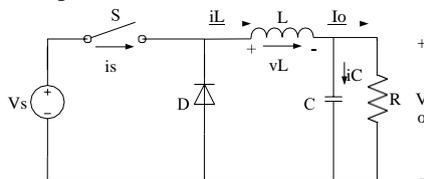
$I_2$  = nilai arus dari modul PV 2 (ampere)

$I_3$  = nilai arus dari modul PV 3 (ampere)

$I_n$  = nilai arus dari modul PV ke-n (ampere)

## 2.2 Buck Converter

Konverter DC – DC *step down*, umumnya dikenal sebagai *Buck Converter*, ditunjukkan pada Gambar 3 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*.

$$(V_s - V_o)DT = -V_o(1 - D)T \quad (6)$$

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

$$M_v = \frac{V_o}{V_s} = D \quad (7)$$

Itu bisa dilihat dari Persamaan (6) 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 3 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 dan DCM diberikan oleh.

$$L_b = \frac{(1 - D) R}{2f} \quad (8)$$

Kapasitansi filter C harus lebih besar dari

$$C_{min} = \frac{(1 - D)V_o}{8V_r L f^2} \quad (9)$$

Persamaan (8) dan (9) 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. (8). Nilai kapasitor filter C diperoleh dari kondisi riak tegangan Persamaan (9) (Rashid,2001).

## 2.3 Inverter

*Inverter* merupakan suatu alat yang berfungsi untuk mengubah arus DC menjadi arus AC. Pada pembangkit listrik tenaga surya, inverter berfungsi sebagai pengkondisi tenaga listrik (*power condition*) dan sistem kontrol yang merubah arus listrik searah (DC) yang dihasilkan oleh solar modul menjadi listrik arus bolak-balik (AC), yang nantinya akan mengontrol kualitas daya listrik yang dikeluarkan untuk dikirim ke beban atau jaringan listrik. Terdapat dua macam sistem inverter pada PLTS yaitu Inverter 1 fasa untuk sistem PLTS yang bebannya kecil dan Inverter 3 fasa untuk sistem PLTS yang besar dan terhubung dengan jaringan PLN (Putra,2015).

## 2.4 Baterai

Baterai adalah media penyimpanan yang digunakan dalam sistem pembangkit listrik tenaga surya yang berfungsi menyimpan energi listrik yang dihasilkan oleh panel surya pada siang hari, untuk kemudian dipergunakan pada malam hari dan pada saat cuaca mendung. *Battery* yang dipergunakan pada pembangkit listrik tenaga surya mengalami proses siklus mengisi (*charging*) dan mengosongkan (*discharging*), tergantung pada ada atau tidaknya sinar matahari. Selama ada sinar matahari, panel surya akan menghasilkan energi listrik. Apabila energi listrik yang dihasilkan melebihi kebutuhan bebannya, maka energi listrik tersebut akan segera dipergunakan untuk mengisi *battery*. Sebaliknya

selama matahari tidak ada, permintaan energi listrik akan disuplai oleh *battery*. Proses pengisian dan pengosongan ini disebut satu siklus *battery* (Andi,2017).

## 2.5 Generator

Generator adalah mesin yang mengelola energi mekanik menjadi energi listrik. Prinsip kerja generator adalah rotor generator yang digerakan oleh turbin sehingga menimbulkan tenaga listrik. Sumber energi untuk penggerak turbin terdiri dari berbagai macam sumber, antara lain adalah uap, air, gas, mesin diesel dan lain-lain. Kegunaan dari generator adalah sebagai sumber tenaga listrik pada pompa air/minyak, penerangan dan lain-lain. Generator merupakan mesin elektrik yang menggunakan medan magnet sebagai media. Konstruksi generator terbagi menjadi dua yaitu bagian diam atau stator dan bagian berputar atau rotor. Pembangkitan tegangan oleh fluks hingga menghasilkan tegangan terminal pada generator dalam hal ini generator sinkron yang bekerja berdasarkan hukum induksi faraday yang menyatakan kuantitatif induksi tegangan oleh waktu-perubahan medan magnetik.

Pembangkit Listrik Tenaga Diesel (PLTD) ialah Pembangkit listrik yang menggunakan mesin diesel sebagai penggerak mula (*prime mover*). Prime mover merupakan peralatan yang mempunyai fungsi menghasilkan energi mekanis yang diperlukan untuk memutar rotor generator. Mesin diesel sebagai penggerak mula PLTD berfungsi menghasilkan tenaga mekanis yang dipergunakan untuk memutar rotor generator. Pembangkit Listrik Tenaga Diesel biasanya digunakan untuk memenuhi kebutuhan listrik dalam jumlah beban kecil, terutama untuk daerah baru yang terpencil atau untuk listrik pedesaan dan untuk memasok kebutuhan listrik suatu pabrik (Wisnu.2013).

## 2.6 Sistem Hibrid

Hibrid Sistem adalah penggunaan 2 sistem atau lebih pembangkit listrik dengan sumber energi yang berbeda. Umumnya sistem pembangkit yang banyak digunakan untuk hibrid adalah genset, pembangkit listrik tenaga surya, mikrohydro, tenaga angin. Sistem ini merupakan salah satu alternatif sistem pembangkit yang tepat diaplikasikan pada daerah-daerah yang sukar dijangkau oleh sistem pembangkit besar seperti jaringan PLN atau Pembangkit Listrik Tenaga Diesel (PLTD). Sistem hibrid ini memanfaatkan renewable energi sebagai sumber utama (primer) yang dikombinasikan dengan genset atau lainnya sebagai sumber energi cadangan (sekunder). Dalam sistem hibrida, generator diesel merupakan komponen wajib yang harus diikutsertakan dalam sistem ini untuk membangkitkan daya selama periode dimana radiasi matahari sangat rendah atau tidak ada sama sekali, menyuplai permintaan beban serta untuk mengurangi ukuran array dan *battery bank* (Sean Yudha, 2016).

Pemanfaatan sistem energi hibrid mempunyai beberapa kelebihan seperti:

1. Beban dapat dipenuhi secara optimal
2. Efisiensi Generator set tinggi
3. Ukuran Generator Set dan komponen lain

dapat diminimalisir sehingga mengurangi biaya investasi

4. Mengurangi ketergantungan terhadap bahan bakar minyak bumi
5. Keandalan dan efisiensi sistem akan meningkat
6. Meningkatkan waktu layanan listrik secara ekonomis
7. Mengurangi emisi dan polusi
8. Meningkatkan u mur operasi sistem
9. Biaya operasional dan maintenance relative murah
10. Biaya produksi energi listrik relatif murah

## 2.7 Profil Beban

Profil beban merupakan langkah pertama untuk mendesain dari setiap sistem tenaga listrik. Sifat operasi beban dan perilaku konsumen adalah parameter yang menentukan profil beban. Dalam suatu rangkaian listrik selalu dijumpai suatu sumber dan beban. Bila sumber listrik DC, maka sifat beban hanya bersifat resistif murni, karena frekuensi sumber DC adalah nol. Reaktansi induktif (XL) akan menjadi nol yang berarti bahwa induktor tersebut akan *short circuit*. Tegangan dan arus se-fasa. Secara matematis, tahanan, arus, tegangan serta daya aktif dapat dinyatakan :

$$R = \frac{V}{I} \quad (10)$$

$$I = \frac{V}{R} \quad (11)$$

$$V = I \cdot R \quad (12)$$

$$P = V \cdot I \quad (13)$$

dimana:

$R$  = Hambatan (Ohm)

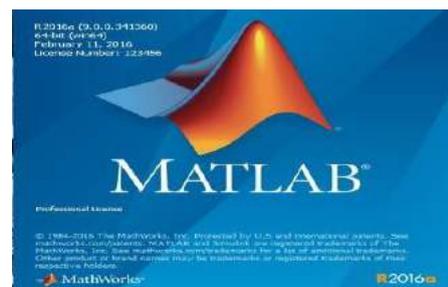
$V$  = Tegangan (Volt)

$I$  = Kuat Arus (Ampere)

$P$  = Daya Aktif (Watt)

## 2.8 Matlab 2016a

Matlab merupakan perangkat lunak yang digunakan untuk pemrograman, analisis, serta komputasi teknis dan matematis berbasis matriks. Matlab adalah singkatan dari *Matrix Laboratory* karena mampu menyelesaikan masalah perhitungan dalam bentuk matriks. Matlab versi pertama dirilis pada tahun 1970 oleh Clever Moler. Pada awalnya, Matlab didesain untuk menyelesaikan masalah-masalah persamaan aljabar linear. Seiring berjalannya waktu, program ini terus mengalami perkembangan dari segi fungsi dan performa komputasi.

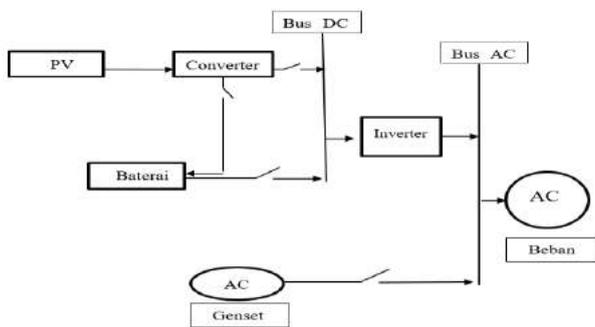


**Gambar 4** Software Matlab R2016  
**III. METODOLOGI PENELITIAN**

Bab metode penelitian ini membahas tahapan yang dilakukan pada penelitian. Tahapan tersebut meliputi studi literatur seperti berdiskusi dengan dosen pembimbing dan membaca teori yang berkaitan dengan penelitian melalui buku dan jurnal, menentukan peralatan dan bahan, serta langkah-langkah yang digunakan untuk menjalankan penelitian, melakukan pengujian simulasi setiap komponen sehingga dapat data tegangan dan arus keluaran dari setiap sumber pembangkit yang disimulasikan pada penelitian ini. Penelitian ini disimulasikan melalui perangkat lunak (*software*) MATLAB (*Math Laboratory*) R2016a.

### 3.1 Blok Diagram Pembangkit Hibrid

Berikut ini adalah diagram blok sistem pembangkit hibrid PV-Generator :



**Gambar 5** Blok Diagram Sistem Pembangkit Hibrid PV-Generator

Sistem kerja pembangkit hibrid PV-Generator sangat tergantung pada dari beban atau fluktuasi pemakaian energi yang mana selama 24 jam beban tidak merata untuk setiap waktunya. Pemakaian energi sangat dipengaruhi oleh penggabungan pembangkit listrik dalam pembangkit hibrid, secara garis besar ditunjukkan pada diagram blok diatas. Komponen utama dari pembangkit hibrid ini adalah pembangkit listrik tenaga surya (PV) dan generator sebagai pembangkit pembantu untuk mengatasi permintaan beban. Serta menggunakan sistem penyimpanan energi berupa baterai untuk menggantikan peran PV ketika malam hari dan baterai mendapat suplai energi dari PV tersebut. Untuk algoritma pengoperasian pembangkit hybrid ini mengacu pada kurva beban harian dan penentuan kapasitas pembangkit juga dilihat dari kurva beban harian.

Berikut ini sistem algoritma pembangkit listrik hibrid PV-Generator :

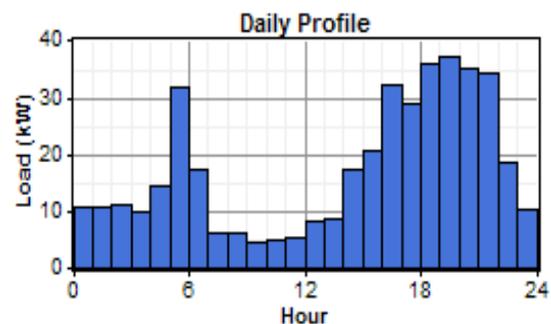
1. Ketika siang hari, yaitu dari jam 07:00 sampai pukul 17:00, permintaan beban disuplai oleh PV. PV juga berperan sebagai suplai daya untuk ke baterai, sehingga pada siang hari PV beroperasi memberikan daya ke beban dan ke baterai.
2. Ketika malam hari, yaitu mulai pukul 17:00 sampai pukul 07:00, permintaan beban disuplai oleh baterai yang menggantikan peran PV yang sudah di isi daya baterainya oleh PV ketika siang hari.
3. Pengoperasian generator itu terjadi hanya saat diatas

beban nominal yang sudah ditentukan, generator disini hanya sebagai pembangkit pembantu untuk keadaan beban diatas nominal atau mengalami beban puncak. Sebagai acuannya yaitu mengikuti pola kurva beban harian.

4. Pada pengontrolan sistem sinkron di generator berfungsi untuk penyinkronan antara inverter dengan generator. Pada sistem hybrid ini, penyinkronan ini sudah di anggap sinkron. Pada sistem hybrid ini, sistem generator mengikuti sistem PV. Sehingga parameter generator mengikuti parameter PV agar bisa saling interkoneksi untuk bisa generator memberikan daya ke beban.

### 3.2 Profil Beban harian

Langkah awal dalam perancangan sistem algoritma pembangkit listrik hibrid PV-Generator adalah penentuan total beban harian. Pola beban harian yang dipakai pada penelitian sebagai acuan untuk menentukan kapasitas-kapasitas setiap pembangkitnya yaitu dari kapasitas pembangkit listrik PV, kapasitas daya baterai dan kapasitas pembangkit dari generator. Berikut ini adalah gambar kurva karakteristik pola profil beban harian dalam 24 jam.



**Gambar 6** Kurva karakteristik Beban Harian

Pada gambar 6 dapat kita lihat konsumsi beban harian. Dari kurva diatas dapat kita lihat bahwa permintaan beban mulai naik itu terjadi sekitar mulai pukul 05:00 sampai dengan pukul 06:00 dan pada pukul 19.00 sampai dengan pukul 22.00. Beban mulai menurun terjadi mulai pukul 07:00 sampai dengan pukul 14:00. Penentuan kapasitas tiap pembangkit dilihat dari gambar kurva karakteristik beban harian per-jam. Penentuan kapasitas setiap pembangkit dapat dilihat dari gambar kurva diatas, dari kurva diatas dapat dilihat untuk konsumsi beban perjam serta beban dasar dan permintaan beban. Total beban harian dari kurva diatas sebesar 410 kwh, dengan daya rata-rata perjam 17 kwh. Pembangkit PV dan baterai bekerja pada daya 30 KW kebawah dan untuk daya 30 KW keatas akan dibantu generator.

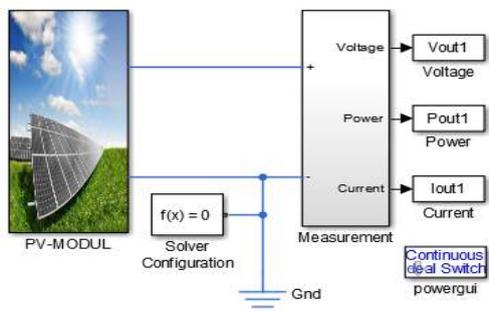
### 3.3 Perancangan Panel PV

Pada penyusunan panel PV untuk pembangkit listrik hibrid ini kapasitas PV didapat dari profil beban harian. Dari profil beban harian sehingga didapat masing-masing kapasitas setiap pembangkitnya. Pada pembangkit PV ini didapat daya pembangkit sebesar 58 kWp sesuai dengan permintaan beban yang dirancang pada simulasi *matlab R2016a*. PV sistem dirancang dengan menentukan spesifikasi modul PV. Modul PV tersebut kemudian

disusun dalam satu *string* PV dan susunan *string* PV akan disusun menjadi PV *array*.

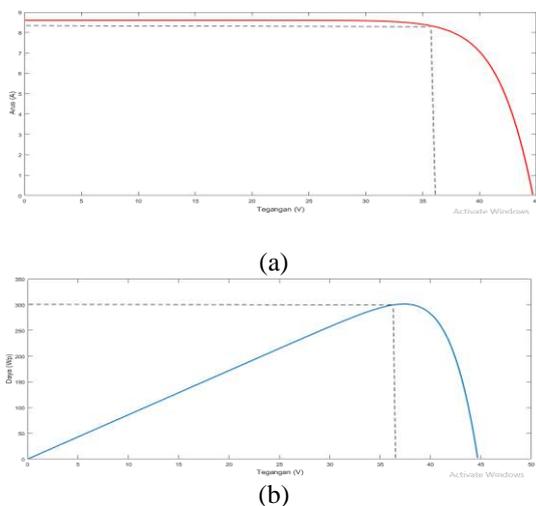
### 3.3.1 Perancangan Modul PV

Modul surya pada gambar 7 memiliki nilai arus *short circuit* sebesar 8.6 A dan tegangan *open circuit* sebesar 0.620834 V pada radiasi 1000 W/m<sup>2</sup>. Konfigurasi modul PV yang digunakan terdiri dari 72 sel surya.



Gambar 8 Perancangan Modul PV

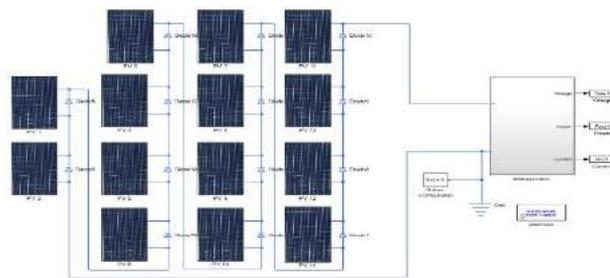
Dengan spesifikasi yang ada, modul PV akan disimulasikan pada *matlab* R2016a. Dari simulasi didapat hasil berupa kurva karakteristik seperti pada gambar dibawah ini.



Gambar 9 (a) Kurva Karakteristik Daya-Tegangan; (b) Kurva Karakteristik Arus-Tegangan dari Sebuah Modul Surya

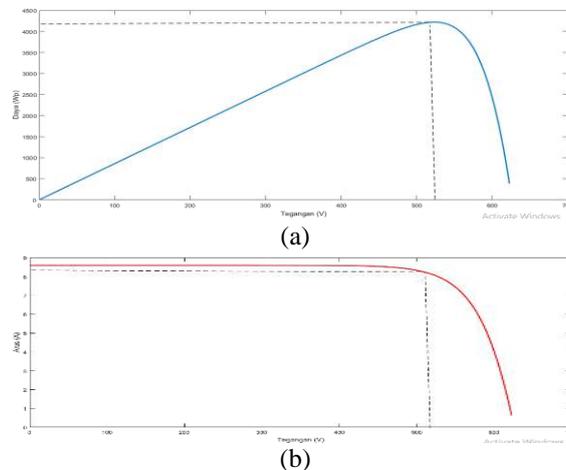
Dari Gambar 9 dapat diketahui titik *Maximum Power Point* (Pmpp). Kurva karakteristik Gambar 9a menjelaskan bahwa satu modul PV menghasilkan daya puncak sebesar 300 Wp pada saat tegangan 37.08 volt. Gambar 9b menunjukkan arus yang dicapai pada titik Pmpp adalah sebesar 8.09 A.

### 3.3.2 Perancangan String PV



Gambar 10 Susunan PV String

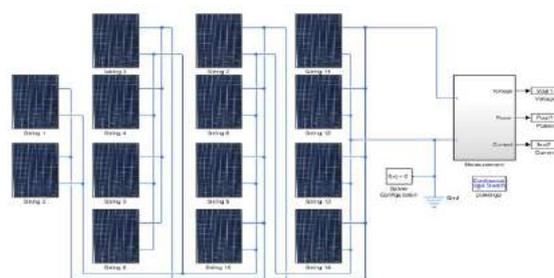
Gambar 10 menunjukkan rancangan *string* PV yang akan disimulasikan. *String* PV tersebut menghasilkan kurva karakteristik daya, tegangan, dan arus. Kurva karakteristik *string* PV ditunjukkan pada gambar 11.



Gambar 10 (a) Kurva Karakteristik Daya-Tegangan; (b) Kurva Karakteristik Arus-Tegangan dari PV *string*

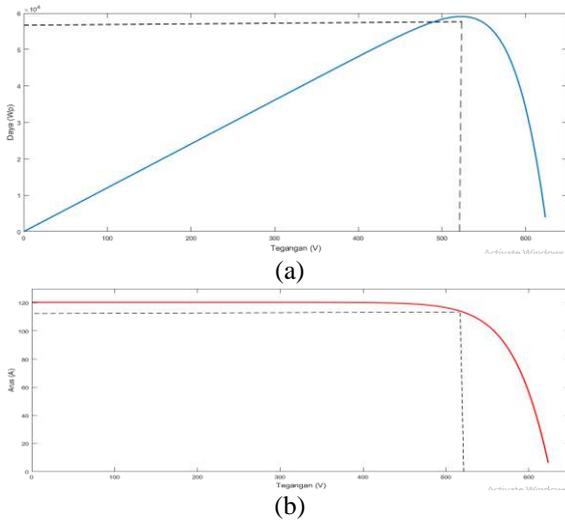
Gambar 10 menunjukkan bahwa 1 *string* PV menghasilkan daya puncak sebesar 4200 Wp. Arus yang dihasilkan satu *string* PV pada kondisi Pmpp adalah sebesar 8.09 A dengan tegangan sebesar 515.23 volt.

### 3.3.3 Perancangan PV Array



Gambar 11 Perancangan PV *array* 58 kWp

Gambar 11 adalah rancangan PV *array* dengan kapasitas 58 kWp. Rancangan tersebut akan digunakan dalam penelitian ini. PV *array* akan disimulasikan menggunakan *matlab* R2016a. Simulasi tersebut menghasilkan spesifikasi dan kurva karakteristik dari PV *array* yang akan dibahas pada bab 4.



**Gambar 12** (a) Kurva Karakteristik Daya-Tegangan; (b) Kurva Karakteristik Arus-Tegangan dari PV Array

Gambar 12 menunjukkan bahwa 1 Array PV menghasilkan daya puncak sebesar 58988 Wp. Arus yang dihasilkan satu system Array PV pada kondisi Pmp adalah sebesar 114.49 A dengan tegangan sebesar 519.12 volt.

### 3.4 Perancangan Buck Converter

Output dari PV array berupa arus dan tegangan akan diteruskan sebagai referensi MPPT P&O. Mekanisme MPPT P&O menghasilkan *duty cycle*. Sinyal *duty cycle* tersebut akan ditumpangkan oleh sinyal PWM. Sinyal PWM akan mengendalikan *switch* yang terdapat pada rangkaian *Buck Converter*. Sebagai penurun tegangan, *Buck Converter* berfungsi menjaga tegangan tetap rendah sesuai dengan *range* tegangan yang diharapkan. Agar *Buck Converter* dapat bekerja dengan baik, maka dilakukan perhitungan sesuai dengan tabel 1.

**Tabel 1** Parameter Komponen *Buck Converter*

Parameter	Nilai
Pmax	58 kWp
Vin	519.12 Vdc
Vout	400 Vdc
Iin	113.26 A
Iout	113.26 A
Frekuensi <i>switching</i>	20 KHz
Riak tegangan	0.01 V

**Tabel 2** Parameter Komponen *Buck Converter*

Parameter	Nilai
Induktor	$3.2005245 \times 10^{-5}$ H
Kapasitor	0.093504392 F
Frekuensi <i>switching</i>	20 KHz

### 3.5 Perancangan Inverter

Inverter merupakan peralatan elektronika yang berfungsi untuk mengubah arus listrik searah (DC) dari panel surya atau battery menjadi arus listrik bolak-balik (AC) dengan frekuensi 50Hz/60Hz. Pemilihan inverter yang tepat untuk aplikasi tertentu tergantung pada kebutuhan beban yang di suplay. Efisiensi inverter pada saat pengoperasian adalah sebesar 90%.

**Tabel 3** Spesifikasi Inverter Merk SMA 20 Kw

SPESIFIKASI INVERTER MERK SMA 20 kW	
<b>INPUT</b>	
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 A / 43 A
<b>OUTPUT</b>	
Rated power (at 230 V, 50 Hz)	20000 W
Max. AC apparent power	20000 VA
Max. efficiency / European Efficiency	98.4 % / 98.0 %

### 3.6 Perancangan Baterai

Baterai berfungsi menyimpan arus listrik yang dihasilkan oleh modul surya sebelum dimanfaatkan untuk menggerakkan beban. Battery tersebut mengalami proses siklus menyimpan dan mengeluarkan, tergantung pada ada atau tidak adanya sinar matahari. Selama waktu adanya matahari, panel surya menghasilkan daya listrik. Daya yang tidak digunakan dengan segera dipergunakan untuk mengisi battery. Selama waktu tidak adanya matahari, maka suplai daya listrik disediakan oleh battery. Kapasitas baterai yang digunakan adalah sebesar 30 KAh. Baterai yang digunakan adalah 12 V 100 Ah.

### 3.7 Perancangan Generator

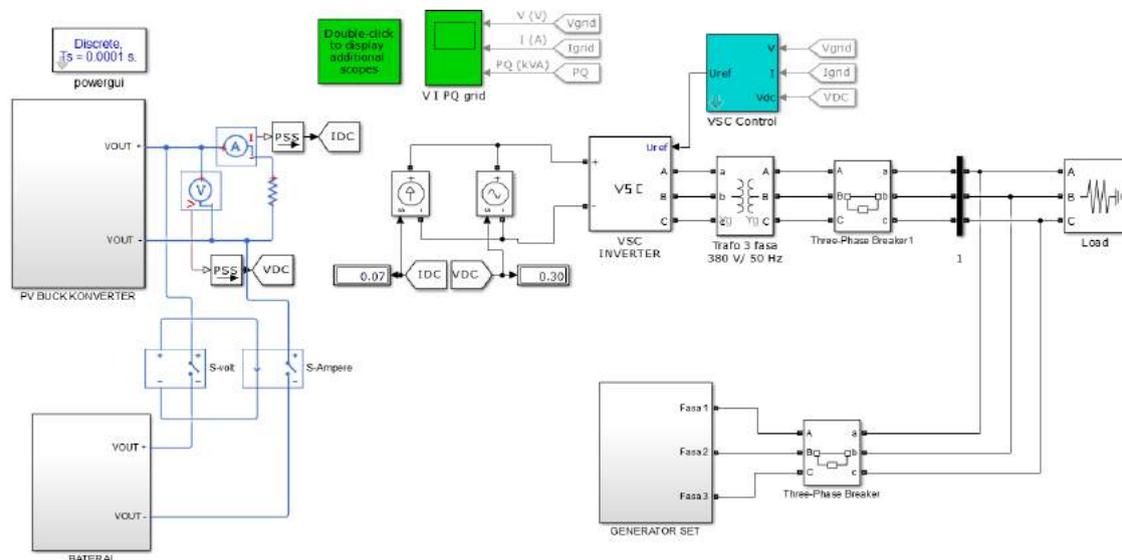
Generator adalah mesin yang mengelola energi mekanik menjadi energi listrik. Prinsip kerja generator adalah rotor generator yang digerakan oleh turbin sehingga menimbulkan tenaga listrik. Generator pada sistem hybrid dapat dilengkapi dengan automatic starter agar nyala-mati nya generator dapat diatur secara otomatis maupun manual. Tipe generator yang digunakan adalah generator bensin jika daya yang diinginkan tidak terlalu besar. Tipe generator berbahan solar jika daya yang dibutuhkan berkapasitas besar. Pada system hybrid, generator digunakan digunakan untuk memback-up beban dari kerja panel surya.

Generator yang dipakai adalah jenis bahan bakar solar yang biasa digunakan pada pembangkit hybrid untuk membantu menyuplai beban dengan kapasitas daya besar. Pada penelitian ini, generator yang digunakan adalah berjenis bahan bakar solar dengan kapasitas daya sebesar 25 KVA.

## IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

### 4.1 Blok Diagram System

Setelah dilakukan perancangan perkomponen pada bab 3 sebelumnya sehingga didapat hasil blok diagram seperti pada gambar sebagai berikut.



**Gambar 14** Blok diagram system pembangkit hybrid PV-Generator

Dapat dilihat pada Gambar 14 merupakan hasil penggabungan tiap-tiap bagian yang sudah dirancang pada bab 3 menjadi sebuah *system*, yang mana modul *Photovoltaic* (PV) yang telah dirancang kemudian disusun dengan konfigurasi susunan terdiri dari 14 *string* PV, setiap *string* terdiri dari 14 modul PV kemudian dibuat sebuah konfigurasi PV dengan susunan yang sama, sehingga total modul PV yang digunakan sebanyak 196 buah. Pada Tabel 4 dapat dilihat parameter dari PV dengan 1 sistem pada Matlab R2016a.

**Tabel 4** Parameter PV sistem Pada Matlab R2016a

Pmax (Maximum Power)	58.791 Wp
Vmp (Voltage at Pmax)	519.2 Vdc
Imp (Current at Pmax)	113.26 A
Voc (Open Circuit Voltage)	625.8 Vdc
Isc (Short Circuit Current)	120.4 A
Modul Terhubung Seri	14
Modul Terhubung Paralel	14
Jumlah Modul PV	196

Tabel 4 menampilkan parameter dari PV sistem yang telah dirancang dan pada saat disimulasikan dengan kondisi iradiasi 1000 W/m<sup>2</sup> menghasilkan daya puncak sebesar 58.791 Wp. Daya tersebut ditetapkan sebagai

titik daya maksimum pada MPPT. Konfigurasi PV yang dirancang adalah 14 seri dan 14 paralel sehingga mempunyai tegangan sebesar 519.2 volt dan arus 113.36 ampere. Dan daya yang dihasilkan PV dari 1 sistem nya pada saat kondisi iradiasi 1000 W/m<sup>2</sup> sebesar 58.791 Wp.

**Tabel 5** Parameter *Buck Converter* Pada Matlab R2016a

Parameter	Nilai
Pmax	58.791 Wp
Vin	519.2 Vdc
Vout	400 Vdc
Iin	113.36 A
Iout	113.36 A
Induktor	2.62847E-05 H
Kapasitor	0.109096864 F
Frekuensi <i>switching</i>	20 KHz

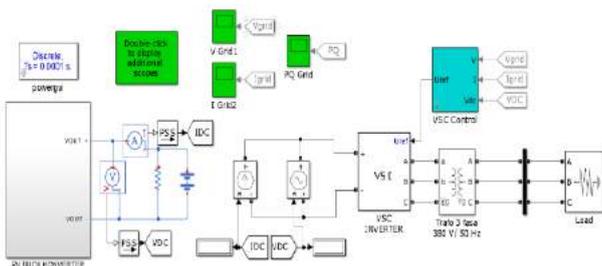
Pada Tabel 5 dapat dilihat parameter *buck converter* yang digunakan pada simulasi, rangkaian dari parameter *converter* ini sama mengikuti Tabel 5 diatas. Selanjutnya komponen yang digabungkan setelah PV dan *Buck Converter* yaitu inverter, pada penelitian ini inverter yang digunakan untuk simulasi menggunakan

inverter *tools* yang telah disediakan oleh *software* Matlab R2016a dengan parameter dari inverter menyesuaikan dengan inverter yang beredar dipasaran. Pada gambar 4.1 blok diagram menjelaskan bahwa rangkaian simulasi system pembangkit listrik hybrid PV-Generator untuk mengatasi beban harian dan beban lebih serta ditambahkan pembangkit baterai yang nantinya berfungsi untuk menggantikan peran PV ketika PV tidak dapat bekerja terkhususnya pada malam hari.

System pembangkit hybrid PV-Generator ini akan disimulasikan secara masing-masing pembangkit dan gabungan untuk melayani permintaan beban harian. Pengujian simulasi dilakukan dengan simulasi persatuan yaitu pengujian pembangkit PV, pengujian pembangkit generator, pengujian pembangkit baterai serta pengujian pembangkit hybrid antara PV-generator dan baterai dengan variasi pola beban harian terendah, pola beban normal dan pola beban puncak.

#### 4.2 Pengujian Simulasi Pembangkit PV

Pada pengujian simulasi pembangkit PV ini dimaksud untuk melihat keluaran yang dihasilkan pada PV, *converter* dan inverter yang mana akan disimulasikan sebuah system PV, *converter* dan inverter terdiri dari satu bagian yang tersambung dengan beban. Berikut ini gambar rangkaian pengujian simulasi pembangkit PV yang terangkai dari panel PV, *buck converter*, Inverter dan beban.



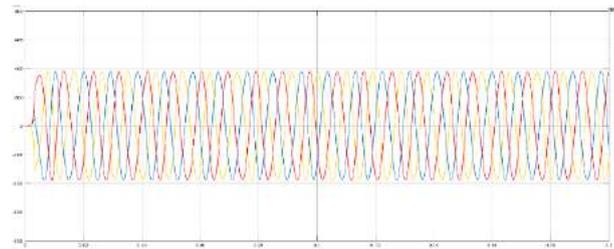
**Gambar 15** Rangkaian Simulasi Pembangkit PV ke beban

Pada gambar 15 menunjukkan rangkaian simulasi pembangkit PV yang terkoneksi ke beban. Rangkaian simulasi tersebut yang terangkai dari PV array dan selanjutnya menuju ke *buck converter*. Pada *buck converter* inilah tegangan di turunkan sebelum masuk ke inverter dan di sesuaikan dengan parameter inverter tersebut. Setelah masuk ke inverter, bagian terakhir pada rangkaian tersebut adalah beban. Pada beban ini lah pola beban nantinya di buat sesuai dengan pola beban harian yang sesuai dengan profil beban harian yang terdiri dari pola beban harian terendah, beban normal serta beban puncak.

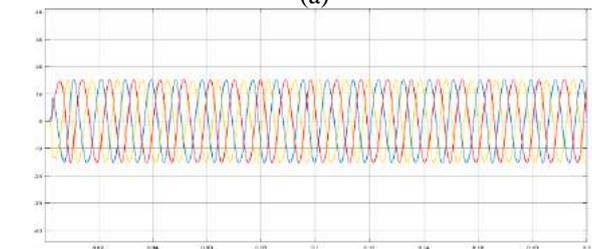
Pengujian simulasi PV ini akan di simulasikan dengan variasi pola beban harian yang terjadi setiap harinya. Pola beban ini terjadi ada berbagai variasi beban yaitu pada pola beban rendah, pola beban normal dan pola beban puncak yang nantinya akan di simulasikan pada pembangkit PV. Berikut ini ada penyajian tabel 4.3

merupakan hasil pengujian beban harian dari pola beban terendah, normal, hingga beban puncak.

#### 4.2 Pengujian Simulasi PV beban 10 Kw



(a)

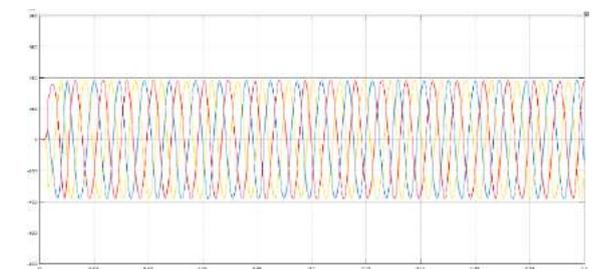


(b)

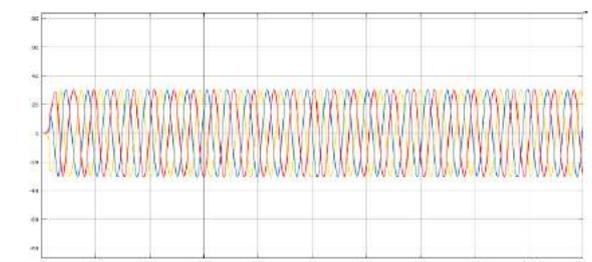
**Gambar 16** (a) Gelombang tegangan (b) Gelombang arus pada pengujian simulasi beban 10 Kw

Pada gambar 16 bagian a dan b merupakan bentuk gelombang keluaran dari tegangan dan arus inverter dari pembangkit PV dengan diberi beban daya sebesar 10 Kw pada saat radiasi maksimal atau sebesar  $1000 \text{ W/m}^2$ . Dari pengujian tersebut menghasilkan berupa gelombang tegangan yang bernilai 380 V dan arus sebesar 16 A. Pengujian simulasi pembangkit PV ini dilakukan waktu simulasi selama 0.2 detik, sehingga dapat dilihat bentuk gelombang sinusoidal dari nilai tegangan dan arus pada pengujian PV ini. Dari hasil simulasi ini, tegangan dan arus yang dihasilkan daya sebesar 10530 W.

#### 4.2.2 Pengujian Simulasi PV beban 20 Kw



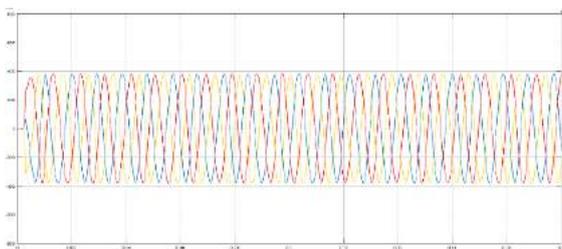
(a)



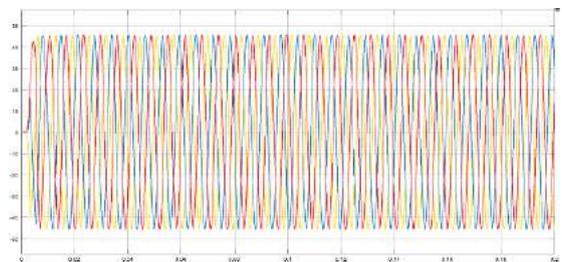
(b)  
**Gambar 17** (a) Gelombang tegangan (b)  
 Gelombang arus pada pengujian simulasi beban  
 20 Kw

Pada gambar 17 bagian a dan b merupakan bentuk gelombang keluaran dari tegangan dan arus inverter dari pembangkit PV dengan diberi beban daya sebesar 20 Kw pada saat radiasi maksimal atau sebesar 1000 W/m<sup>2</sup>. Dari pengujian tersebut menghasilkan berupa gelombang tegangan yang bernilai 380 V dan arus sebesar 31 A. Pengujian simulasi pembangkit PV ini dilakukan waktu simulasi selama 0.2 detik, sehingga dapat dilihat bentuk gelombang sinusoidal dari nilai tegangan dan arus pada pengujian PV ini. Dari hasil simulasi ini, tegangan dan arus yang dihasilkan daya sebesar 20403 W.

#### 4.2.3 Pengujian Simulasi PV beban 30 Kw



(a)

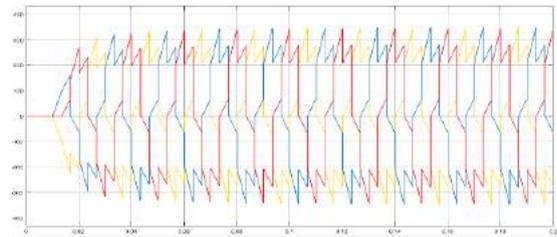


(b)

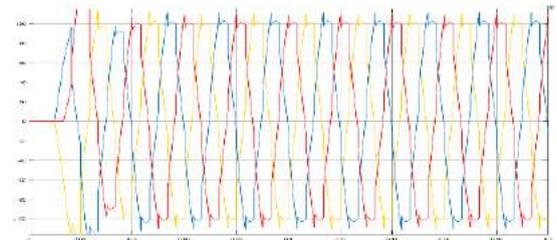
**Gambar 18** (a) Gelombang tegangan (b)  
 Gelombang arus pada pengujian simulasi beban  
 30 Kw

Pada gambar 18 bagian a dan b merupakan bentuk gelombang keluaran dari tegangan dan arus inverter dari pembangkit PV dengan diberi beban daya sebesar 30 Kw pada saat radiasi maksimal atau sebesar 1000 W/m<sup>2</sup>. Dari pengujian tersebut menghasilkan berupa gelombang tegangan yang bernilai 380 V dan arus sebesar 45 A. Pengujian simulasi pembangkit PV ini dilakukan waktu simulasi selama 0.2 detik, sehingga dapat dilihat bentuk gelombang sinusoidal dari nilai tegangan dan arus pada pengujian PV ini. Dari hasil simulasi ini, tegangan dan arus yang dihasilkan daya sebesar 30276 W.

#### 4.2.4 Pengujian Simulasi PV beban 38 Kw



(a)



(b)

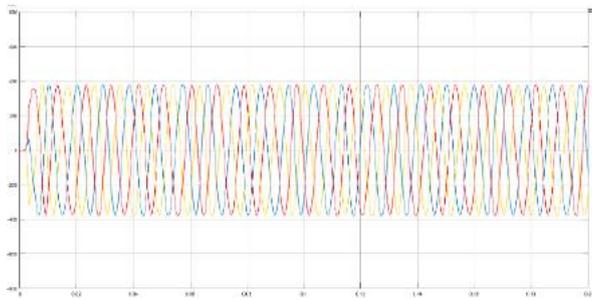
**Gambar 19** (a) Gelombang tegangan (b)  
 Gelombang arus pada pengujian simulasi kondisi  
 beban 38 Kw atau beban puncak

Pada gambar 19 dapat dilihat bahwa bentuk gelombang yang dihasilkan dari simulasi PV dengan di beri daya beban sebesar 38 Kw dengan bentuk gelombang yang tidak sinusoidal. Bentuk gelombang yang dihasilkan berbentuk seperti gerigi dan sangat tidak menggambarkan sinusoidalnya. Pada hasil gelombang juga menunjukkan bahwa nilai tegangan yang turun menjadi di angka 350 V dan arus meunjukkan nilai yang naik dengan nilai sebesar 90 A. Sehingga dapat disimpulkan bahwa rangkaian simulasi tidak mampu melayani beban sebesar 38 Kw karena pembangkit PV hanya mampu melayani beban sebesar 30 Kw. Oleh sebab itu, hal yang sangat dibutuhkan dalam masalah ini adalah membutuhkan pembangkit atau sumber lain untuk membantu PV untuk melayani beban tersebut. Dalam hal ini, pembangkit pembantu yang digunakan adalah pembangkit generator. Penggabungan pembangkit ini akan di simulasikan pada pembahasan selanjutnya.

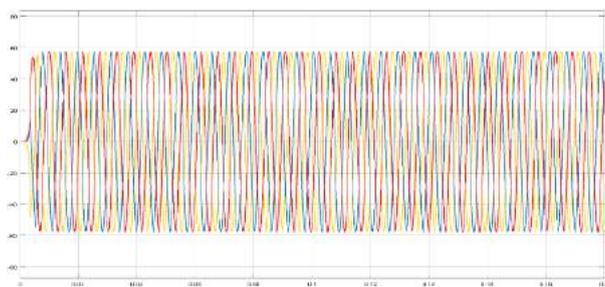
#### 4.3 Pengujian Simulasi Hibrid PV-Generator-Baterai

Setelah dilakukan pengujian pembangkit PV pada bab sebelumnya yang menunjukkan hasil simulasi di setiap nilai beban yang diberikan dan tingkat keberhasilan yang didapat berupa nilai gelombang pada hasil simulasi. Pada bab sebelumnya menunjukkan bahwa ada simulasi yang dilakukan tidak mampu untuk melayani beban. Hasil simulasinya di tunjukan dengan bentuk gelombang yang tidak sinusoidal, sehingga dibutuhkan pembangkit tambahan atau disebut pembangkit hibrid untuk membantu pembangkit PV agar bisa melayani beban secara maksimal. Pada simulasi hibrid ini akan dilakukan pengujian disaat beban berada

di titik puncaknya, yaitu berada pada nilai 38 Kw. Namun, penggabungan pengujian antara pembangkit PV dan generator ini hanya bisa melayani beban puncak pada siang hari karena PV hanya dapat bekerja pada siang hari. Untuk beban puncak pada malam hari akan di bantu oleh baterai dan generator. Berikut ini simulasi pembangkit PV dan generator ketika melayani beban puncak pada siang hari.



(a)



(b)

**Gambar 20** (a) Gelombang tegangan (b) Gelombang arus pada pengujian simulasi kondisi beban 38 Kw atau beban puncak dengan 2 pembangkit PV-generator dan Baterai-generator

Pada hasil simulasi dapat dilihat bahwa bentuk gelombang yang dihasilkan berbentuk sinus dan menunjukkan bahwa pembangkit mampu mengatasi beban sebesar 38 Kw. Pada gambar 20 (b) dapat dilihat bentuk arus yang berbentuk sinusoidal dengan menunjukkan gelombang puncak di angka 58 ampere dengan tegangan 380 volt.

#### 4.4 Analisa

Pada hasil pengujian yang dilakukan, pembangkit PV dan baterai mampu melayani beban secara mandiri dari beban sebesar 10 kw, dengan tegangan 380 volt dan arus 16 ampere dengan daya yang dihasilkan sebesar 10530 watt. Pada beban 20 kw, tegangan yang dihasilkan yaitu 380 volt dengan arus 31 ampere dan daya yang dihasilkan 20403 watt. Pada daya 30 kw, tegangan yang dihasilkan 380 volt dengan arus 45 ampere dan daya sebesar 30276 watt. Namun, disaat beban di angka 38 watt atau berada di beban puncak, pembangkit PV atau baterai tidak mampu melayani beban tersebut. Terbukti dengan hasil pengujian dengan tegangan sebesar 360 volt dan arus sebesar 90 ampere yang berarti pembangkit tidak mampu melayani beban

karena nilai yang dihasilkan mengalami drop tegangan dan arus yang terjadi mengalami kenaikan yang tidak sesuai dengan yang disimulasikan.

Pada pengujian selanjutnya yaitu pengujian simulasi secara gabungan atau hybrid. Pengujian system hybrid ini dilakukan untuk mengetahui bahwa beban puncak mampu dilayani dengan pembangkit gabungan yaitu system hybrid antara PV-generator dan baterai-generator. Pada system ini, sistem hybrid PV-generator bekerja melayani beban puncak ketika siang hari, sedangkan dengan sistem hybrid baterai-generator ini bekerja ketika melayani beban puncak disaat malam hari. Berikut ini hasil pengujian sistem hybrid ketika melayani beban puncak.

Pada pengujian sistem pembangkit hybrid mampu melayani beban puncak secara maksimal, dengan menunjukkan tegangan sebesar 380 volt dan arus sebesar 58 ampere dengan daya yang dihasilkan sebesar 38174. Ini menunjukkan bahwa sistem hybrid yang rencanakan mampu melayani beban puncak sebesar 38 kw baik siang maupun di malam hari.

## V. KESIMPULAN DAN SARAN

### 5.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil algoritma system pembangkit hybrid PV-Generator dan hasil pengujian yang dilakukan pada penelitian ini dapat diambil kesimpulan sebagai berikut ini.

1. Pada perancangan pembangkit hybrid PV-Generator dengan acuan pada profil beban harian dengan beban puncak setiap harinya sebesar 38 kw maka masing-masing daya yang dibangkitkan yaitu pada pembangkit PV sebesar 58 kw dan generator sebesar 25 KVA.
2. Ketika daya beban berada pada kondisi rendah yaitu sebesar 10 kw dan daya normal sebesar 20 kw, pembangkit PV masih mampu melayani beban tersebut tanpa bantuan pembangkit generator. Ketika siang hari daya beban di suplay oleh PV dan Ketika malam hari peran PV digantikan oleh pembangkit baterai.
3. Sistem pembangkit listrik hybrid menggunakan PV,generator dan baterai yang dirancang telah bekerja sesuai dengan harapan dimana semua beban yang terjadi terutama beban puncak mampu di layani oleh sistem hybrid yang dirancang dengan hasil yang menunjukkan ketika melayani beban puncak sebesar 38 kw dengan tegangan sebesar 380 volt dan arus sebesar 58 ampere.

### 5.2 Saran

Setelah dilakukan simulasi dan pengujian dari system pembangkit hybrid ini tentu masih ada kekurangan-kekurangan, maka penulis akan memberikan saran untuk penelitian selanjutnya mengenai system pembangkit hybrid ini agar peneliti selanjutnya lebih baik lagi. Adapun saran penulis yaitu

sebagai berikut.

1. Penelitian selanjutnya sistem yang telah dibuat kiranya dapat dikembangkan lagi untuk penelitian lanjutan dengan menerapkan sistem berbasis *controller* untuk mengontrol semua sistem hybrid agar lebih efisien.
2. Penulis berharap pada penelitian selanjutnya lebih di kembangkan lagi sistem pembangkit hybrid ini dan menambah sumber pembangkit dari energi baru terbarukan agar lebih ramah lingkungan dan nantinya mampu membuat pembangkit hybrid dalam skala yang lebih besar lagi.

#### DAFTAR PUSTAKA

- Andi, J. Ira, D.S. dan Ramdhan,H. S. (2017). Prototipe Pemanfaatan Panel Surya Sebagai Sumber Energi Pada Sistem Otomasi Atap Stadion Bola. Darussalam, Banda Aceh.
- Anjas Starlen Arotal, Hesky S. Kolibu, Benny M. Lumi (2013). Perancangan Sistem Pembangkit Listrik Hibrida (Energi Angin Dan Matahari) Menggunakan Hybrid Optimization Model For Electric Renewables (HOMER). FMIPA, Unsrat, Manado.
- Bhatia, S. (2014). Advanced Renewable Energy System: Part 1. New Delhi, India: Woodhead Publishing India Pvt Ltd.
- Dhear, P. P. Eddy S. K. dan Indra R. K. (2016). Perencanaan Sistem Pembangkit Listrik Hybrid (Sel Surya dan Diesel Generator) Pada Kapal Tanker. TEKNIK ITS. Vol. 5, No. 2.
- Hossain, R. K. (2013). Effects of Internal Resistance on the Photovoltaic Parameters of Solar Cells. *ICMIME*, 733-739.
- Kosyachenko, L. A. (2011). *Solar Cell - Silicon Wafer-Based Technologies/*. Croatia: InTech.
- Putra, A.A Giriantari, I.N Kumara, S. (2015). Studi Sistem Pengelolaan PLTS 15 kW Stand Alone Dengan Metode Kano Di Dusun Yeh Mampoh Kabupaten Bangli. Universitas Udayana. (VOL.14 NO.1).
- Rashid, M. H. (2001). *Power Electronics Hand Bool*. California: Academic Press.
- Sean, Y. Y. Soeprapto. dan Teguh, U. (2016). Analisis Pembangkit Listrik Hibrida (Plh), Diesel Dan Energi Terbarukan Di Pulau Mandangin, Sampang, Madura Menggunakan Software Homer. Universitas Brawijaya.
- Soediby, Antonius Rajagukguk (2016). *Desain Penaik Tegangan Menggunakan Kombinasi Ky Dan Buck-Boost Converter Pada Sistem Photovoltaic*. Kampus ITS Sukolilo, Surabaya (60111).
- William H.Hayt, J. J. (2005). *Rangkaian Listrik Jilid 1*. Jakarta : Erlangga.
- Wisnu, P. Dian, R. S. dan Wisnu, A. P. (2013). Permodelan Dan Simulasi Sistem Pembangkit Listrik Hibrida Tenaga Surya, Tenaga Angin Dan Tenaga Diesel. Fakultas Teknik, Universitas Dian Nuswantoro Semarang.