

# PERANCANGAN ROOFTOP OFF GRID SOLAR PANEL PADA RUMAH TINGGAL SEBAGAI ALTERNATIF SUMBER ENERGI LISTRIK

Muhammad Fahmi Hakim<sup>1)</sup>

<sup>1)</sup>Jurusan Teknik Elektro, Politeknik Negeri Malang  
e-mail: [mufaha84@gmail.com](mailto:mufaha84@gmail.com)

## Abstract

*Electrical energy demand are derived from non-renewable energy is increasing every year. So there is an effort has to be done to reduce or even eliminate dependence on electricity from PLN. One way that is practical and easy is to design offgrid rooftop solar panels on homes. Based on the calculation and design, solar panels are required as many as five panels to power 275 WP, capacity solar charge controller is used at 85 A, it takes four batteries 12 V 230 Ah, teh inverter has power of DC up to 1800 W and output AC power 1500 W maximum, and also the required conductor cross-sectional are 2.5 mm<sup>2</sup> with a rating of MCB 16 A.*

**Keywords:**renewable energy, solar panel, offgrid,

## 1. PENDAHULUAN

Setiap tahun kebutuhan akan energi listrik di dunia akan mengalami pertumbuhan. Hal ini juga berlaku di Indonesia. Selama kurun waktu 17 tahun (2003 sampai dengan 2020) total kebutuhan listrik di Indonesia diperkirakan tumbuh sebesar 6,5% per tahun dari 91,72 TWh pada tahun 2002 menjadi 272,34 TWh pada tahun 2020 (Muchlis & Permana, 2003).

Kondisi tersebut mendorong beberapa pihak melakukan inovasi-inovasi untuk mengantisipasi terjadinyalonjakan penggunaan energi listrik. Beberapa tahun terakhir ini sudah mulai dikembangkan pemanfaatan energi terbarukan sebagai media alternatif apabila suatu saat minyak bumi atau batubara ketersediaannya sudah tidak mencukupi untuk dijadikan sebagai sumber energi utama untuk dikonversi menjadi energi listrik. Salah satu energi alternatif yang dikembangkan adalah energi matahari. Energi matahari sangat potensial dikembangkan karena dalam kondisi puncak atau posisi matahari tegak lurus, sinar matahari yang jatuh di permukaan panel surya di Indonesia seluas satu meter persegi akan mampu mencapai 900 hingga 1000 Watt. Total intensitas penyinaran per hari di Indonesia mampu mencapai 4500 Wh/m<sup>2</sup> sehingga Indonesia termasuk daerah yang kaya akan energi matahari (Yulianto, 2008).

Energi matahari itu dikonversi menjadi energi listrik oleh sel surya. Banyak sekali keuntungan yang bisa diperoleh jika menggunakan sel surya. Di antaranya adalah sel surya ini ramah lingkungan karena tidak menimbulkan gas hasil pembakaran bahan bakar fosil. Sel surya ini juga cukup praktis karena dapat dipasang di mana saja asal terdapat banyak sinar matahari. Selain itu sel surya juga tidak menimbulkan kebisingan seperti halnya pembangkit listrik yang menggunakan turbin. Sehingga sel surya ini bisa dipasang di daerah pemukiman, umumnya di atas atap/genting rumah tinggal yang dikenal sebagai *rooftop solar panel*. Pengertian *rooftop solar panel* adalah panel surya yang dipasang di atas atap rumah dengan tujuan untuk menghasilkan energi listrik guna untuk mereduksi penggunaan listrik dari grid (jaringan utama/jaringan PLN) atau bahkan sama sekali tidak bergantung pada jaringan PLN. *Rooftop solar panel* ini bisa dikoneksikan dengan jaringan PLN (*on grid*) maupun berdiri sendiri (*off grid*). Pada saat ini, rumah tinggal yang dijadikan obyek penelitian mendapat suplai sumber energi listrik dari jaringan PLN, dengan merancang *rooftop off grid solar panel* di rumah tinggal maka dapat mengurangi ketergantungan atau bahkan sama sekali tidak bergantung akan energi listrik dari PLN.

## 2. KAJIAN LITERATUR

### 2.1 Panel Surya

Sel surya merupakan komponen penting dalam konversi energi cahaya matahari menjadi energi listrik yang pada umumnya dibuat dari bahan semikonduktor. Luas dari sel surya ini sekitar 10-15 cm<sup>2</sup>. Sel surya mengubah memanfaatkan cahaya matahari untuk menghasilkan listrik DC, yang dapat diubah menjadi listrik AC apabila diperlukan, oleh karena itu meskipun cuaca mendung, selama masih terdapat cahaya. Sel surya merupakan lapisan-lapisan tipis yang terbuat dari bahan semikonduktor silikon (Si) murni, dan bahan semikonduktor lainnya. Tenaga listrik yang dibangkitkan oleh sel surya tunggal sangat kecil sehingga dibutuhkan beberapa sel surya yang digabungkan menjadi sebuah komponen yang disebut panel surya atau *solar module*. Panel surya inilah yang diproduksi pabrik sel surya pada umumnya. Dan apabila beberapa panel surya digabungkan menjadi satu akan membentuk suatu komponen yang disebut *solar array*. Hal ini ditujukan untuk meningkatkan energi listrik yang dihasilkan oleh panel surya. Satu panel surya rata-rata mampu menghasilkan daya listrik maksimal 130 W. Jika dibutuhkan daya listrik sebesar 3 kW maka dibutuhkan *solar array* dengan luas sekitar 20 hingga 30 m<sup>2</sup>.

Pada saat ini peneliti telah berhasil mengembangkan dua jenis sel surya yang umum digunakan dalam Pembangkit Listrik Tenaga Surya. Jenis sel surya itu antara lain *monocrystalline* dan *polycrystalline*. Tiap jenis sel surya mempunyai kelebihan dan kekurangan masing-masing.

Tipe *monocrystalline* mempunyai efisiensi yang sangat tinggi sekitar 16-17 % bahkan ada yang memiliki efisiensi hingga 20%. Selain itu dimensi dari tipe ini lebih kecil. Namun dalam proses produksinya menemui kendala pada biaya yang lebih mahal karena proses pembuatannya yang rumit. Selain itu sel surya ini kurang berfungsi dengan baik atau efisiensinya akan berkurang drastis jika cuaca berawan.

Tipe *polycrystalline* mempunyai efisiensi yang lebih rendah dan dimensi yang lebih besar jika dibandingkan dengan tipe *monocrystalline*. Akan tetapi tipe ini dapat menghasilkan energi listrik dalam keadaan cuaca berawan dan mempunyai harga yang lebih murah sehingga banyak dipakai di pasaran.



Gambar 1 Panel surya tipe *monocrystalline* dan *polycrystalline*

Agar mendapatkan nilai maksimum maka ada beberapa faktor yang harus diperhatikan dalam pengoperasian panel surya. Faktor-faktor tersebut diuraikan sebagai berikut.

- Suhu udara**  
Sel surya dapat beroperasi secara maksimal jika temperatur sel tetap normal (pada 25<sup>0</sup> Celsius). Jika terjadi kenaikan temperatur yang lebih tinggi dari temperatur normal sel surya maka bisa menurunkan tegangan keluaran. Setiap kenaikan temperatur sel surya sebesar 10<sup>0</sup> Celsius (dari 25<sup>0</sup> Celsius) akan mengurangi sekitar 0.4 % dari total tenaga listrik.
- Radiasi matahari**  
Radiasi matahari di permukaan bumi bervariasi, dan sangat tergantung keadaan spektrum cahaya matahari ke bumi. Radiasi sinar matahari akan banyak berpengaruh pada arus sedikit pada tegangan.
- Kecepatan angin bertiup**  
Angin yang bertiup sedikit lebih kencang disekitar lokasi sel surya dapat membantu mendinginkan permukaan temperatur kaca-kaca sel surya.

d. Keadaan atmosfer bumi  
Keadaan atmosfer bumi yang berawan, mendung, jenis partikel debu udara, asap, uap air udara (Rh), kabut dan polusi sangat menentukan maksimal arus listrik yang dihasilkan dari panel surya.

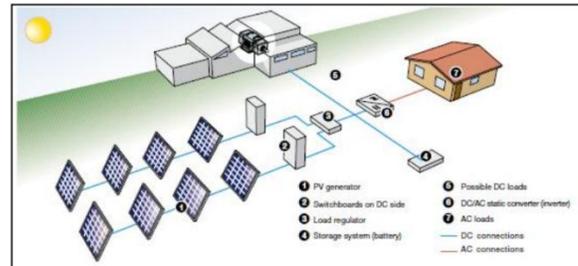
e. Orientasi panel surya  
Agar mendapatkan energi listrik secara maksimal maka panel surya harus disetting ke arah tertentu untuk mendapatkan cahaya matahari secara optimal. Sebagai panduan, lokasi yang berada dibelahan utara garis bujur, maka panel/deretan PV sebaiknya diorientasikan ke arah selatan. Jika diorientasikan ke arah tenggara panel surya juga dapat menghasilkan sejumlah energi listrik tetapi tidak akan mendapatkan cahaya matahari secara optimal.

f. Posisi letak sel surya (larik) terhadap matahari  
Dengan mengatur sinar matahari agar jatuh ke sebuah permukaan panel surya secara tegak lurus akan mendapatkan energi maksimum  $\pm 1000 \text{ W/m}^2$  atau  $1 \text{ kW/m}^2$ . Jika tidak dapat menjaga ketegaklurusan antara sinar matahari dengan bidang panel surya, maka dibutuhkan bidang permukaan panel surya yang lebih luas. Panel surya yang berada di daerah khatulistiwa (latitude 0 derajat) jika diletakkan pada posisi mendatar (tilt angle = 0) akan menghasilkan energi maksimum, sedangkan untuk lokasi dengan latitude berbeda harus dicarikan *tilt angle* yang optimal.

Berdasarkan aplikasi dan konfigurasi, secara garis besar Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) diklarifikasi menjadi dua yaitu. Sistem PLTS yang tidak terhubung dengan jaringan (off-grid PV plant), atau lebih dikenal dengan sebutan PLTS berdiri sendiri (stand-alone), dan sistem PLTS terhubung dengan jaringan (grid-connected PV plant) atau lebih dikenal dengan sebutan PLTS On-grid. Sedangkan apabila PLTS dalam penggunaannya digabung dengan jenis pembangkit listrik lain disebut sistem hybrid.

Sistem PLTS terpusat disebut juga Stand Alone PV System yaitu sistem pembangkit yang hanya mengandalkan energi matahari

sebagai satu-satunya sumber energi utama dengan menggunakan rangkaian photovoltaic module untuk menghasilkan energi listrik sesuai kebutuhan. Secara umum konfigurasi PLTS sistem terpusat dapat dilihat seperti blok diagram di bawah.



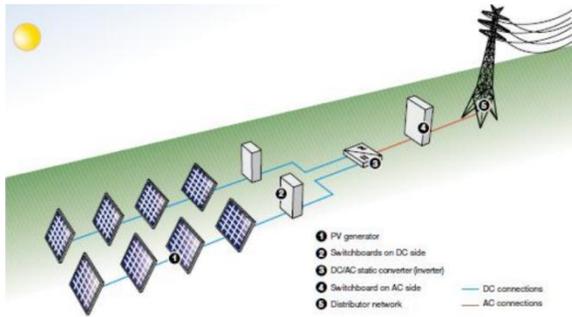
Gambar2 Susunan PLTS Off Grid

Prinsip kerja PLTS sistem terpusat dapat diuraikan sebagai berikut:

1. Pada PLTS sistem terpusat ini, sumber energi listrik yang dihasilkan oleh modul surya (PV) pada siang hari akan disimpan dalam baterai. Proses pengisian energi listrik dari PV ke baterai diatur oleh *Solar Charge Controller* agar tidak terjadi *over charge*. Besar energi yang dihasilkan oleh PV sangat tergantung kepada intensitas penyinaran matahari yang diterima oleh PV dan efisiensi cell. Intensitas matahari maksimum mencapai  $1000 \text{ W/m}^2$ , dengan efisiensi cell 14% maka daya yang dapat dihasilkan oleh PV adalah sebesar  $140 \text{ W/m}^2$ .
2. Selanjutnya energi yang tersimpan dalam baterai digunakan untuk menyuplai beban melalui inverter saat dibutuhkan. Inverter mengubah tegangan DC pada sisi baterai menjadi tegangan AC pada sisi beban.

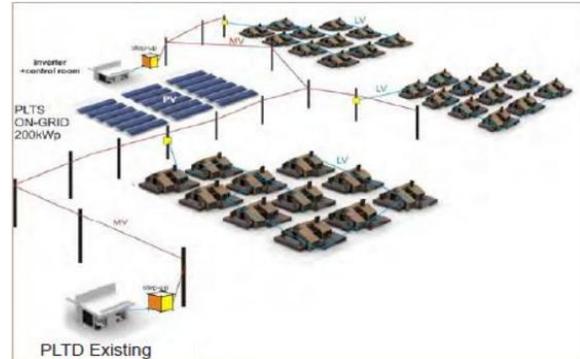
*Grid Connected PV System* atau PLTS terinterkoneksi merupakan solusi *Green Energy* bagi penduduk perkotaan baik perumahan ataupun perkantoran. Sistem ini menggunakan modul surya (*photovoltaic module*) untuk menghasilkan listrik yang ramah lingkungan dan bebas emisi. Dengan adanya sistem ini akan mengurangi tagihan listrik rumah tangga, dan memberikan nilai tambah pada pemiliknya. Sesuai namanya, *grid connected PV*, maka sistem ini akan tetap berhubungan dengan jaringan PLN dengan

mengoptimalkan pemanfaatan energi PV untuk menghasilkan energi listrik semaksimal mungkin.



Gambar3 Susunan PLTS On Grid

Sistem hybrid yaitu sistem yang melibatkan 2 atau lebih sistem pembangkit listrik, umumnya sistem pembangkit yang banyak digunakan untuk hybrid adalah genset, PLTS, Mikrohidro, dan tenaga angin. Sehingga sistem hybrid bisa berarti PLTS-Genset, PLTS-Mikrohidro, PLTS-Tenaga Angin, dan lainnya. Di Indonesia sistem hybrid telah banyak digunakan, baik PLTS Genset, PLTS Mikrohidro, maupun PLTS tenaga angin-mikrohidro. Namun demikian hybrid PLTS-Genset yang paling banyak dipakai. Umumnya digunakan pada *captives genset/isolated grid (stand alone genset)*, yakni genset yang tidak diinterkoneksi. Tujuan dari Hybrid PV-Genset adalah mengkombinasikan keunggulan dari setiap pembangkit (dalam hal ini genset dan PLTS) sekaligus menutupi kelemahan masing-masing pembangkit untuk kondisi-kondisi tertentu, sehingga secara keseluruhan sistem dapat beroperasi lebih ekonomis dan efisien. Kombinasi Hybrid PV-Genset akan mengurangi jam operasi genset (misalnya dari 24 jam per hari menjadi hanya 4 jam per hari pada saat peak load saja) sehingga biaya operasi dan manajemen dapat lebih efisien, sementara PLTS digunakan untuk mencatu base load, sehingga tidak dibutuhkan investasi awal yang besar. Dengan demikian Hybrid PV-Genset akan dapat menghemat operasi dan *management cost*, mengurangi inefisiensi penggunaan genset, serta sekaligus menghindari kebutuhan investasi awal yang besar.



Gambar4 Skema Hybrid Photovoltaic Power System

Menurut IEEE standard 929-2000 sistem PLTS dibagi menjadi tiga kategori, yaitu PLTS skala kecil dengan batas 10 kW atau kurang, skala menengah dengan batas antara 10 kW hingga 500 kW, skala besar dengan batas di atas 500 kW (Omran, IEEE, 2000)

## 2.2 Solar Charge Controller

*Solar charge controller* adalah suatu komponen yang berfungsi mengatur aliran energi panel surya ke battery maupun aliran energi dari battery ke beban sehingga bisa melindungi battery dan peralatan lainnya dari kerusakan. *Solar charge controller* mengantisipasi *overcharging* dan kelebihan voltase dari panel surya. Kelebihan voltase dan pengisian akan mengurangi umur baterai. Panel surya 12 volt umumnya memiliki tegangan output 16 - 21 volt. Sedangkan Baterai umumnya di-charge pada tegangan 14 - 14.7 Volt. Jadi tanpa *solar charge controller*, baterai akan rusak oleh *overcharging* dan ketidakstabilan tegangan.



Gambar5 Solar charge controller

Secara detail fungsi dari solar charge controller adalah sebagai berikut:

- mengatur arus untuk pengisian ke baterai untuk menghindari *overcharging*, dan *overvoltage*;
- mengatur arus yang dibebaskan/diambil dari baterai agar baterai tidak *full discharged* dan *overloading*;
- monitoring temperatur baterai.

Dalam pemilihan solar charge controller yang harus diperhatikan adalah:

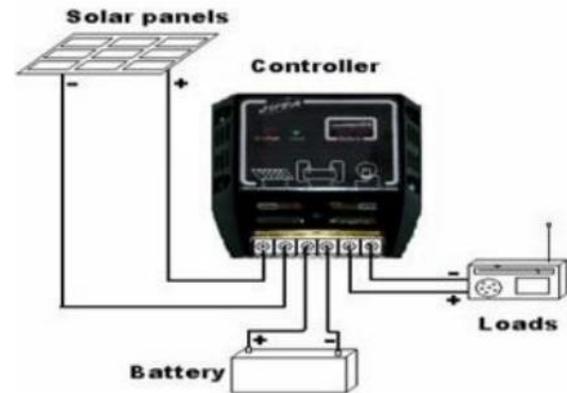
- tegangan 12 Volt DC/24 Volt DC;
- kemampuan (dalam arus searah) dari controller;
- *full charge dan low voltage cut*

Solar charge controller yang baik biasanya mempunyai kemampuan mendeteksi kapasitas baterai.

Bila baterai sudah penuh terisi maka secara otomatis pengisian arus dari panel surya berhenti. Cara deteksi adalah melalui monitor level tegangan baterai. Solar charge controller akan mengisibaterai sampai level tegangan tertentu, kemudian apabila level tegangan drop, maka baterai akan diisi kembali.

Solar charge controller biasanya terdiri dari satu input (2 terminal) yang terhubung dengan keluaran panel surya, satu output (2 terminal) yang

terhubung dengan baterai dan satu output (2 terminal) yang terhubung dengan beban. Arus listrik DC yang berasal dari baterai tidak mungkin masuk ke panel surya karena biasanya ada 'diode protection' yang hanya melewatkan arus listrik DC dari panel surya ke baterai, bukan sebaliknya.



Gambar6 Posisi solar charge controller dalam sistem

Berikut formula untuk menghitung kapasitas solar charge controller (SCC):

$$I_{SCC} = I_{sc \text{ panel}} \times N_{\text{panel}} \times 125\% \dots \dots \dots (1)$$

Keterangan:

$I_{SCC}$  = arus SCC (ampere)

$I_{sc \text{ panel}}$  = arus hubung-singkat panel surya (ampere)

$N_{\text{panel}}$  = jumlah panel surya

125% = Kompensasi.

Terdapat dua jenis solar charge controller berdasarkan teknologi yang digunakan, yaitu:

- PWM (*Pulse Wide Modulation*), seperti namanya menggunakan lebar pulse dari on dan off elektrik, sehingga menciptakan seakan-akan *sine wave electrical form*. Solar charge controller jenis ini harganya lebih murah tetapi efisiensi konversi energinya lebih rendah.
- MPPT (*Maximun Power Point Tracker*), yang lebih efisien konversi DC to DC. MPPT dapat mengambil maksimum daya dari PV. MPPT charge controller dapat menyimpan kelebihan daya yang tidak digunakan oleh beban ke dalam baterai, dan apabila daya yang dibutuhkan beban lebih

besar dari daya yang dihasilkan oleh PV, maka daya dapat diambil dari baterai. *Solar charge controller* jenis ini harganya lebih mahal tetapi efisiensi konversinya lebih rendah. Kelebihan MPPT dalam ilustrasi ini: panel surya ukuran 120 Watt, memiliki karakteristik *Maximun Power Voltage* 17,1 volt dan *Maximun Power Current* 7,02 ampere. Dengan *solar charge controller* selain MPPT dan tegangan baterai 12,4 volt, berarti daya yang dihasilkan adalah  $12,4 \text{ volt} \times 7,02 \text{ ampere} = 87,05 \text{ Watt}$ . Dengan MPPT, maka arus yang bisa diberikan adalah  $120\text{W} : 12,4 \text{ V} = 9,68 \text{ Ampere}$ .

### 2.3 Baterai

Baterai adalah alat penyimpan tenaga listrik arus searah (DC). Ada beberapa jenis baterai/aki di pasaran yaitu jenis aki basah/konvensional, hybrid dan MF (*Maintenance Free*). Aki basah/konvensional berarti masih menggunakan asam sulfat ( $\text{H}_2\text{SO}_4$ ) dalam bentuk cair. Sedangkan aki MF sering disebut juga aki kering karena asam sulfatnya sudah dalam bentuk gel. Dalam hal mempertimbangkan posisi peletakkannya maka aki kering tidak mempunyai kendala, lain halnya dengan aki basah. Aki konvensional kandungan timbalnya (Pb) juga masih tinggi sekitar 2,5% untuk masing-masing sel positif dan negatif. Sedangkan jenis *hybrid* kandungan timbalnya sudah dikurangi menjadi masing-masing 1,7%, hanya saja sel negatifnya sudah ditambahkan unsur Calsium. Sedangkan aki MF/aki kering sel positifnya masih menggunakan timbal 1,7% tetapi sel negatifnya sudah tidak menggunakan timbal melainkan Calsium sebesar 1,7%. Pada Calsium battery Asam Sulfatnya ( $\text{H}_2\text{SO}_4$ ) masih berbentuk cairan, hanya saja hampir tidak memerlukan perawatan karena tingkat penguapannya kecil sekali dan dikondensasi kembali. Teknologisekarang bahkansudah memakai bahan silver untuk campuran sel negatifnya. Usia baterai tergantung dari DOD (*Depth of Discharge*). Semakin besar nilai DOD baterai maka akan semakin awet.

Ada beberapa pertimbangan dalam memilih baterai:

- Tata letak, apakah posisi tegak, miring atau terbalik. Bilapertimbangannya untuk segala posisi maka aki kering adalah pilihan utama karena cairan air aki tidak akan tumpah. Kendaraan off road biasanya menggunakan aki kering mengingat medannya yang berat. Aki ikut terguncang-guncang dan terbanting. Aki kering tahan guncangan sedangkan aki basah bahan elektodanya mudah rapuh terkena guncangan.
- Voltase/tegangan, dipasaranyang mudah ditemui adalah yang bertegangan 6V, 12V dan 24V. Ada juga yang multipole yang mempunyai beberapa titik tegangan. Yang custom juga ada, biasanya dipakai untuk keperluan industri.
- Kapasitas aki yang tertulis dalam satuan Ah (Ampere hour), yang menyatakan kekuatan aki, seberapa lama aki tersebut dapat bertahan mensuplai arus untuk beban / load.
- *Cranking Ampere* yang menyatakan seberapa besar arus start yang dapat disuplai untuk pertama kali pada saat beban dihidupkan. Aki kering biasanya mempunyai cranking ampere yang lebih kecil dibandingkan aki basah, akan tetapi suplai tegangan dan arusnya relatif stabil dan konsisten. Itu sebabnya perangkat audio mobil banyak menggunakan aki kering.
- Pemakaian dari aki itu sendiri apakah untuk kebutuhan rutin yang sering dipakai ataukah cuma sebagai back-up saja. Aki basah, tegangan dan kapasitasnya akan menurun bila disimpan lama tanpa recharge, sedangkan aki kering relatif stabil bila di simpan untuk jangka waktu lama tanpa recharge.
- Harga karena aki kering mempunyai banyak keunggulan maka harganya pun jauh lebih mahal daripada aki basah. Untuk menjembatani rentang harga yang jauh maka produsen aki juga memproduksi jenis aki kalsium (*calcium battery*) yang harganya diantara keduanya.



Gambar7 Baterai jenis *deep cycle gel*

Secara garis besar, baterai dibedakan berdasarkan aplikasinya dan konstruksinya. Berdasarkan aplikasi maka baterai dibedakan untuk automotif, marine dan *deep cycle*. *Deep cycle* meliputi baterai yang biasa digunakan untuk PV (*Photo Voltaic*) dan *back up power*. Sedangkan secara konstruksi maka baterai dibedakan menjadi tipe basah, gel dan AGM (*Absorbed Glass Mat*). Baterai jenis AGM biasanya juga dikenal dgn VRLA (*Valve Regulated Lead Acid*).

## 2.4 Inverter

Inverter adalah perangkat elektrik yang digunakan untuk mengubah arus listrik searah (DC) menjadi arus listrik bolak balik (AC). Inverter mengkonversi DC dari perangkat seperti baterai, panel surya menjadi AC. Penggunaan inverter dari dalam Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) adalah untuk perangkat yang menggunakan AC.

Beberapa hal yang perlu dipertimbangkan dalam pemilihan inverter:

- kapasitas beban dalam Watt, usahakan memilih inverter yang beban kerjanya mendekati dgn beban yang hendak kita gunakan agar efisiensi kerjanya maksimal;
- input DC 12 Volt atau 24 Volt; dan
- *sinewave* ataupun *square wave* output AC.



Gambar8 Inverter DC ke AC

## 2.5 Penghantar

Penghantar adalah suatu alat yang digunakan untuk mengalirkan arus listrik dari sumber menuju beban dan peralatan listrik lainnya. Penghantar banyak sekali jenis dan ukurannya disesuaikan dengan kebutuhan. Pada umumnya jenis penghantar yang digunakan di instalasi rumah tinggal yaitu kabel jenis NYA ataupun NYM. Jika menggunakan kabel jenis NYA maka harus dimasukkan ke dalam pipa PVC. Dalam menentukan luas penampang penghantar faktor utama yang harus diperhatikan adalah arus yang mengalir. Apabila penghantar tersebut digunakan untuk mengalirkan arus listrik dalam jarak yang jauh maka perlu juga diperhatikan faktor jatuh tegangan. Hubungan antar ukuran luas penampang penghantar dengan Kemampuan Hantar arus (KHA)-nya dapat dilihat secara detail di PUIL 2000 Tabel 3.7.1.

## 2.6 Miniatur Circuit Breaker (MCB)

MCB adalah sebuah alat yang berfungsi sebagai pengaman penghantar dan peralatan listrik lainnya pada tegangan rendah. MCB ini mampu mengamankan terhadap arus beban lebih atau arus hubung singkat. Rating MCB yang tersedia di pasaran cukup bervariasi mulai dari 2 A sampai dengan 63 A. Penentuan rating MCB harus memperhatikan arus nominal beban. Selain itu rating MCB juga tidak boleh melebihi KHA dari penghantar yang diamankannya. Berdasarkan jumlah fasanya, MCB pada umumnya terdiri dari MCB satu fasa dan MCB tiga fasa.

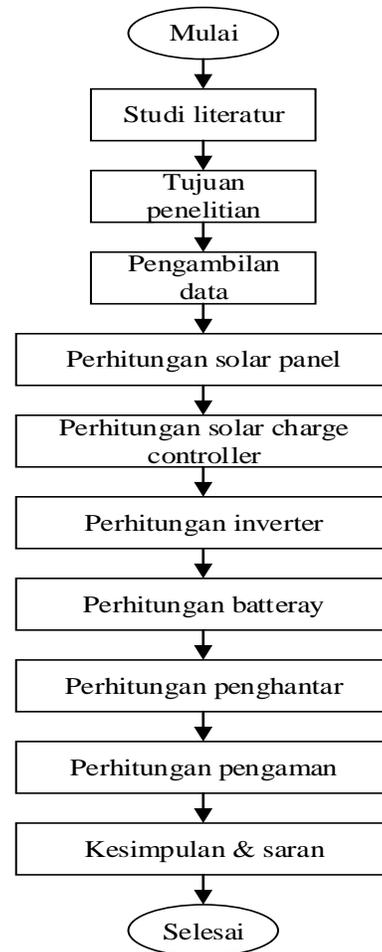


Gambar9 MCB satu fasa dan tiga fasa

### 3. METODE PENELITIAN

#### 3.1 Tahapan Penelitian

Tahapan penelitian digambarkan dalam diagram alir pada Gambar 10. Penelitian diawali dengan studi literatur tentang pengertian dan cara merancang *solar panel*, *solar charge controller*, *inverter*, *batteray*, penghantar, dan pengaman instalasi listrik. Dari hasil studi ini didapatkan rumusan tujuan penelitian. Kemudian diambil data-data yang diperlukan beban yang digunakan pada rumah tinggal dan jumlah fasa. Berdasarkan data-data tersebut maka dapat dilakukan perhitungan dan perancangan *solar panel*, dilanjutkan dengan perhitungan *solar charge controller*, *inverter*, *batteray*, penghantar, dan diakhiri dengan perhitungan terhadap kebutuhan pengaman instalasi listrik *solar cell*. Selanjutnya dilakukan analisis terhadap perhitungan. Kemudian diambil kesimpulan dan saran.



Gambar10 Diagram alir penelitian

#### 3.2 Teknik Pengumpulan dan Analisis Data

Teknik pengumpulan data menggunakan teknik pengumpulan data primer. Data diambil dengan mengamati dan mencatat counter pada kWh meter setiap hari di jam yang sama selama dua minggu berturut turut. Data yang dianalisis berupa data energi listrik yang digunakan di suatu rumah tinggal. Analisis data dilakukan dengan melakukan perhitungan terhadap kebutuhan *solar panel*, *solar charge controller*, *inverter*, baterai, penghantar, dan pengaman instalasi yang diperlukan dengan menggunakan metode perhitungan.

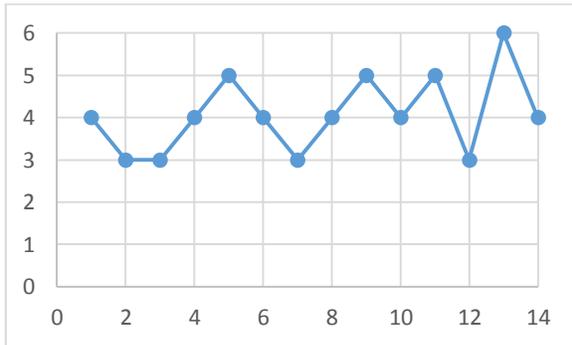
### 4. HASIL DAN PEMBAHASAN

*Rooftop off grid solar panel* ini akan dipasang di sebuah rumah tinggal yang saat ini terkoneksi dengan jaringan PLN dengan data

pemakaian beban selama dua minggu berturut turut dapat dilihat pada Tabel 1.

Tabel1 Pemakaian beban harian

Hari ke-	Pemakaian energi listrik (kWh)
1	4
2	3
3	3
4	4
5	5
6	4
7	3
8	4
9	5
10	4
11	5
12	3
13	6
14	4
Rata-rata per hari	4,07



Gambar11 Grafik pemakaian beban harian

#### 4.1 Perhitungan dan Perancangan Panel Surya

Energi rata-rata harian yang digunakan berdasarkan Tabel 1 adalah sebesar 4070 Wh. Berdasarkan Gambar 7, digunakan panel surya dengan kapasitas 275 Wp. Waktu efektif dari panel untuk menghasilkan daya puncak adalah rata-rata 4,5 jam per hari, untuk desain *off grid* jam efektif ditentukan 3 jam. Sehingga jumlah panel surya yang diperlukan berdasarkan kebutuhan daya adalah:

Jumlah panel surya =  $4070 \text{ Wh} / (275 \text{ Wp} \times 3 \text{ jam}) = 5$  panel surya diseri. Total

teganganpanel surya =  $37,9 \times 5 = 189,5 \text{ V}$  dan total arus = 9,35 A. Tipe yang digunakan adalah *polycrystalline*.

#### ELECTRICAL PERFORMANCE

Electrical parameters at Standard Test Conditions (STC)								
Module type			YLxxxP-29b (xxx=P <sub>max</sub> )					
Power output	P <sub>max</sub>	W	275	270	265	260	255	250
Power output tolerances	ΔP <sub>max</sub>	W	0 / + 5					
Module efficiency	η <sub>m</sub>	%	16.9	16.6	16.3	16.0	15.7	15.4
Voltage at P <sub>max</sub>	V <sub>mpp</sub>	V	31.0	30.7	30.5	30.3	30.0	29.8
Current at P <sub>max</sub>	I <sub>mp</sub>	A	8.90	8.80	8.70	8.59	8.49	8.39
Open-circuit voltage	V <sub>oc</sub>	V	37.9	37.9	37.8	37.7	37.7	37.6
Short-circuit current	I <sub>sc</sub>	A	9.35	9.27	9.18	9.09	9.01	8.92

STC: 1000W/m<sup>2</sup> irradiance, 25°C cell temperature, AM1.5g spectrum according to EN 60904-3. Average relative efficiency reduction of 3.3% at 200W/m<sup>2</sup> according to EN 60904-1.

Gambar12 Datasheet panel surya

#### 4.2 Perhitungan dan Perancangan SCC

Berdasarkan Persamaan 1 maka:

$$I_{SCC} = 9,35 \times 7 \times 125\% = 81,81 \text{ A.}$$

Sehingga kapasitas *solar charge controller* yang digunakan adalah 85 A sesuai yang ada di pasaran.

SmartSolar Charge Controller	MPPT 150/85	MPPT 150/100
Battery voltage	12 / 24 / 48V Auto Select (software tool needed to select 36V)	
Rated charge current	85A	100A
Maximum PV power, 12V 1a,b)	1200W	1450W
Maximum PV power, 24V 1a,b)	2400W	2900W
Maximum PV power, 48V 1a,b)	4900W	5800W
Max. PV short circuit current 2)	70A	70A
Maximum PV open circuit voltage	150V absolute maximum coldest conditions 145V start-up and operating maximum	
Maximum efficiency	98%	
Self-consumption	Less than 35mA @ 12V / 20mA @ 48V	
Charge voltage 'absorption'	Default setting: 14,4 / 28,8 / 43,2 / 57,6V (adjustable with: rotary switch, display, VE.Direct or Bluetooth)	
Charge voltage 'float'	Default setting: 13,8 / 27,6 / 41,4 / 55,2V (adjustable: rotary switch, display, VE.Direct or Bluetooth)	
Charge algorithm	multi-stage adaptive	
Temperature compensation	-16 mV / -32 mV / -68 mV / °C	
Protection	Battery reverse polarity (fuse, not user accessible) PV reverse polarity / Output short circuit / Over temperature	
Operating temperature	-30 to +60°C (full rated output up to 40°C)	
Humidity	95%, non-condensing	
Data communication port	VE.Direct or Bluetooth	
Remote on/off	Yes (2 pole connector)	
Programmable relay	DPST	AC rating: 240VAC / 4A DC rating: 4A up to 35VDC, 1A up to 60VDC
Parallel operation	Yes (not synchronized)	

Gambar13 Datasheet SCC

#### 4.3 Perhitungan dan Perancangan Baterai

Baterai didesain dengan DOD 40 %, maksudnya adalah penggunaan baterai tidak lebih dari 40% dari kapasitasnya untuk memperpanjang usia pakainya. Tegangan sistem yang digunakan adalah 48 V, spesifikasi baterai yang digunakan adalah 12 V 230 Ah jenis *deep cycle gelsehingga*:

$$\text{total kapasitas baterai} = 4070 \text{ Wh} / 40\% = 10.175 \text{ Wh.}$$

$$\text{Jumlah baterai} = 10.175 \text{ Wh} / (12 \text{ V} \times 230 \text{ Ah}) = 4 \text{ buah baterai (pembulatan).}$$

Dengan memperhatikan tegangan sistem 48 V sehingga diperlukan empat buah baterai 12 V 230 Ah yang diseri.

#### 4.4 Perhitungan dan Perancangan Inverter

Inverter yang di pilih harus 1 fasa dan mampu memberikan output daya maksimal 1300 Watt serta harus mampu diberi input energi dari solar panel sebanyak 1375 Watt.

Berdasarkan *datasheet* pada Gambar 9 dipilih inverter model GW 1500-NS dengan daya input DC maksimal 1800 W dan daya output AC maksimal 1500 W.

Model	GW1000-NS	GW1500-NS	GW2000-NS	GW2500-NS	GW3000-NS
<b>DC Input Data</b>					
Max. DC power(W)	1200	1800	2300	2700	3200
Max. DC voltage (V)	450	450	450	450	450
MPPT voltage range (V)	80-400	80-400	80-400	80-400	80-400
Starting voltage (V)	80	80	80	80	80
Max. DC current (A)	10	10	10	15	15
DC overcurrent protection(A)			18		
No. of DC connectors	1	1	1	2	2
No. of MPPTs	1	1	1	1	1
DC overvoltage category			Category II		
DC connector			AMPHENOL/MC		
<b>AC Output Data</b>					
Nominal AC power(W)	1000	1500	2000	2500	3000
Max. AC power(W)	1000	1500	2000	2500	3000
Max. AC current(A)	5	7.5	10	12.5	13.5
AC overcurrent protection(A)			30		
Nominal AC output			50/60Hz; 230Vac		
AC output range		45-55Hz/55-65Hz; 180-270Vac			
THDi			<3%		
Power factor			0.9 leading-0.9 lagging		
Grid connection			Single phase		
AC overvoltage category			Category III		
<b>Efficiency</b>					
Max. efficiency	96.5%	97.0%	97.0%	97.5%	97.5%
Euro efficiency	>96.0%	96.0%	>96.0%	>97.0%	>97.0%
MPPT adaptation efficiency			>99.5%		

Gambar 14 Datasheet inverter

#### 4.5 Perhitungan dan Perancangan Penghantar dan MCB

Berdasarkan nilai arus hubung singkat dari solar panel sebesar 9,35 A dan arus output maksimal inverter sebesar 7,5 A maka digunakan penghantar dengan luas penampang 2,5 mm<sup>2</sup> yang mempunyai KHA 20 A dengan rating MCB 16 A berdasarkan PUIL 2000.

### 5. KESIMPULAN

#### 5.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil perhitungan dan perancangan di atas maka dapat diambil kesimpulan sebagai berikut.

1. Dalam merancang *rooftop off grid solar panel* pada rumah tinggal 1300 VA dengan rata-rata beban harian sebesar 4070 Wh dibutuhkan lima panel surya 275

Wp jenis *polycrystalline* yang dirangkai seri.

2. Baterai yang dibutuhkan sebanyak empat buah baterai 12 V 230 Ah dengan kapasitas SCC 85 A.
3. Inverter yang dipilih mempunyai daya input DC maksimal 1800 W dan daya output AC maksimal 1500 W. Sedangkan penghantar yang digunakan mempunyai luas penampang 2,5 mm<sup>2</sup> dan rating MCB yang digunakan sebesar 16 A.

#### 5.2 Saran

*Rooftop offgrid solar panel* yang dirancang pada rumah tinggal yang dijadikan obyek penelitian ini bisa dikembangkan lagi dengan cara mengintegrasikan sistem panel surya dengan jaringan listrik PLN. Sehingga jika energi listrik yang dihasilkan panel surya lebih banyak daripada kebutuhan rumah tinggal maka energi listrik dapat dijual ke PLN.

### 6. REFERENSI

Datasheet Inverter

[http://www.mijnenergiefabriek.nl/application/files/4814/6012/4045/Installatiehandleiding\\_Goedwe\\_NS\\_Series.pdf](http://www.mijnenergiefabriek.nl/application/files/4814/6012/4045/Installatiehandleiding_Goedwe_NS_Series.pdf) Diunduh tanggal 39 Desember 2016

Datasheet SmartSolar Charge Controllers with screw- or MC4 PV connection MPPT 150/85 & MPPT 150/100

<https://www.victronenergy.com/> Diakses tanggal 20 Desember 2016

Datasheet YGE 60 CELLSERIES 2

<http://www.yinglisolar.com/as/products/multicrystalline/yge-60-cell-series/> Diakses tanggal 19 Desember 2016

Indrawan. 2003. Panel Surya Pembangkit Listrik Tenaga Surya. [www.panelsurya.com](http://www.panelsurya.com). Diakses tanggal 20 Desember 2016

Jatmiko; Asy'ari, H; Purnama, M. 2011. Pemanfaatan Sel Surya dan Lampu LED Untuk Perumahan. Seminar Nasional Teknologi Informasi & Komunikasi Terapan. ISBN 979-26-0255-0

Muchlis & Permana. 2006. Proyeksi Kebutuhan Listrik PLN TAHUN 2003 S.D 2020. Jurnal Pengembangan Sistem Kelistrikan Dalam Pembangunan Nasional Jangka Panjang: 19 – 29

Putra, Tjok Gede Visnu Semara. 2015. Analisa Unjuk Kerja Pembangkit Listrik Tenaga Surya 15 kW di Dusun Asah Teben Desa Datah Karangasem. Laporan Skripsi: Universitas Udayana.

Raharjo, Poeloeng. 2013. Perancangan Sistem Hibrid Solar Cell-Baterai-PLN Menggunakan *Programmable Logic Controller*. Skripsi: Universitas Negeri Jember.

Saini, Neel Kamal. 2011. Grid Connected Hybrid PV/Battery Distributed System VSRD International Journal Of Electrical, Electronics, And Communication Engineering

Srisadad. 2012. Perancangan Simulasi Sistem Rumah Solar Cerdas Terhubung Jaringan PLN. Skripsi: Universitas Indonesia.

Yulianto, B. 2011. Solar Sel Sumber Energi Terbarukan Masa Depan, [www.esdm.go.id/berita/artikel/](http://www.esdm.go.id/berita/artikel/), diakses pada 02 Agustus 2016.