



## Desain Inovatif Pembangkit Tenaga Surya untuk Optimalisasi Efisiensi Energi dengan Menggunakan Teknologi Panel Surya

### *Innovative Solar Power Plant Design to Optimize Energy Efficiency Using Solar Panel Technology*

Subur Simanullang<sup>1</sup>, Antonius Managam Simamora<sup>2\*</sup>, Jhonson Monang Siburian<sup>3</sup>,  
Joslen Sinaga<sup>4</sup>, Piala Mutiara<sup>5</sup>, Rasmi Sitohang<sup>6</sup>

<sup>1,2,3,4</sup>Fakultas Teknik Universitas Darma Agung

<sup>5,6</sup>Fakultas Teknologi Industri Institut Sains dan Teknologi TD Pardede

*Corresponding Author\**: [antonius2simamora@gmail.com](mailto:antonius2simamora@gmail.com)

#### Abstrak

Geografi Indonesia yang kompleks mengakibatkan beberapa wilayah masih belum memiliki listrik. Solusi yang diciptakan adalah sistem pembangkit listrik tenaga surya hibrida 1000 watt. Sistem ini mengandalkan transformasi energi surya menjadi listrik arus searah (DC) melalui panel surya, yang diatur oleh Pengontrol Pengisian Daya Surya (SCR) untuk mempertahankan tegangan pengisian dan beban yang ideal, khususnya hingga maksimum 13,7 V. Konfigurasi ini juga bertujuan untuk mencegah bahaya tegangan tinggi yang dapat merusak komponen seperti beban DC, baterai, dan panel surya itu sendiri. Ketika tegangan panel turun di bawah 12,2 V, pengisian daya otomatis berhenti. Dalam situasi ini, unit Baterai Pelindung Pemutusan Tegangan Rendah (LVD XH-M609) akan memicu relai untuk mengubah sumber pengisian daya ke sumber daya eksternal yang memberikan tegangan 13,67 V, dengan rasio pengisian daya 14%. Ketika tegangan panel meningkat menjadi  $\geq 13$  V yang menggabungkan tegangan minimum (12,2 V) dan tegangan histeresis (0,9 V) sumber pengisian daya akan kembali ke panel surya. Energi listrik DC diubah menjadi arus bolak-balik (AC) dengan inverter gelombang sinus murni 1000 watt yang beroperasi pada efisiensi 86% untuk memenuhi kebutuhan beban listrik AC.

**Kata kunci:** Pembangkit; Efisiensi; Panel Surya.

#### Abstrack

*Indonesia's intricate geography results in certain regions remaining without electricity. A solution created is a 1000 watt hybrid solar energy generation system. This system depends on transforming solar energy into direct current (DC) electricity via solar panels, regulated by a Solar Charge Controller to sustain ideal charging and load voltages, specifically up to a maximum of 13.7 V. This configuration also seeks to prevent the danger of high voltage that could harm elements like DC loads, batteries, and the panels themselves. When the panel voltage falls below 12.2 V, the charging automatically ceases. Under this situation, the Low Voltage Disconnect Protection Battery (LVD XH-M609) unit will trigger a relay to change the charging source to an external power source that offers a voltage of 13.67 V, at a charging ratio of 14%. When the panel voltage increases to  $\geq 13$  V—which combines the minimum voltage (12.2 V) and the hysteresis voltage (0.9 V)—the charging source reverts to the solar panels. The DC electrical energy is converted into alternating current (AC) with a 1000 watt pure sine wave inverter that operates at 86% efficiency to satisfy the requirements of the AC electrical load.*

**Keywords:** Generator; Efficiency; Polar Panels.

## **PENDAHULUAN**

Indonesia terletak di daerah tropis dan membentang di sepanjang garis khatulistiwa, sehingga iklimnya dicirikan oleh radiasi matahari yang tinggi dan relatif seragam sepanjang tahun. Karena posisinya di garis khatulistiwa, Indonesia menikmati sinar matahari sepanjang tahun, dengan intensitas radiasi rata-rata sekitar 4,8 Wh/m<sup>2</sup> setiap hari (Baharuddin & Ishak, 2021). Posisi Indonesia yang berada di antara dua benua dan dua samudra sangat memengaruhi lingkungan alam dan gaya hidup masyarakatnya.

Ketersediaan energi surya yang melimpah menghadirkan peluang yang cukup besar untuk dimanfaatkan sebagai sumber energi dan dapat diimplementasikan di berbagai wilayah di Indonesia. Energi ini termasuk dalam ranah energi baru dan terbarukan (EBT), yang saat ini menjadi harapan dunia, mendorong kemajuan pesat dalam penggunaan dan teknologi energi surya. Panel surya menangkap energi surya, yang kemudian diubah menjadi energi listrik, menawarkan sumber daya yang berkelanjutan dan ramah lingkungan untuk memenuhi kebutuhan energi, terutama di wilayah yang belum memiliki jaringan listrik konvensional. Desain fasilitas pembangkit listrik tenaga surya 1000 watt ini merupakan tahap awal yang saat ini masih memiliki berbagai kendala, namun menjanjikan peningkatan di masa mendatang menjadi sistem yang lebih efisien untuk memenuhi kebutuhan listrik masyarakat dan membantu inisiatif pemerintah. Rumusan Masalah pada penelitian ini adalah desain ini menekankan pendekatan untuk menciptakan sumber daya 1000 watt yang memanfaatkan panel surya monokristalin sebagai generator utama dalam sistem hibrida. Sedangkan Batasan Masalah penelitian ini adalah dalam studi ini, kami sebagai peneliti mengembangkan panel surya monokristalin yang menghasilkan energi 1.000 watt dengan efisiensi 86%. Ukuran panel yang digunakan adalah 0,58 m<sup>2</sup>, dan daya yang dihasilkan adalah 120 watt.

## **LANDASAN TEORI**

### **Energi Listrik**

Dalam era modern, kebutuhan akan energi terus meningkat seiring berkembangnya teknologi dan ketergantungan manusia terhadap perangkat elektronik dalam berbagai aspek kehidupan. Energi listrik merupakan salah satu bentuk energi yang memiliki peran sangat penting dalam aktivitas sehari-hari, karena mayoritas perangkat dan peralatan modern memerlukan pasokan listrik agar dapat beroperasi. Energi ini dihasilkan melalui pergerakan elektron yang mengalir dalam suatu rangkaian tertutup melalui media penghantar. Arah gerak elektron berlawanan dengan arah arus listrik konvensional. Dalam sistem satuan internasional (SI), arus listrik dinyatakan dalam ampere (A), tegangan listrik dalam volt (V), dan daya listrik yang dikonsumsi diukur dalam satuan watt (W).

Aliran arus yang dihasilkan dari penumpukan elektron menghasilkan energi listrik. Transisi yang dihasilkan oleh aliran elektron ini dapat disimpan dalam dua jenis medan yang berbeda: medan elektrostatik dan medan magnet (induktif). Tergantung pada fitur dan tujuan sistem, proses penyimpanan energi dalam sistem kelistrikan biasanya melibatkan interaksi kedua domain ini. Medan listrik yang dihasilkan oleh medan elektrostatik akan memungkinkan muatan (elektron) menumpuk pada pelat kapasitor. Simbol untuk energi listrik adalah ( $W$ ), dan metode untuk menghitung kuantitasnya adalah Eugene C (1993).

$$W = Q \cdot V$$

Apabila dihubungkan dengan hukum Ohm

$$V = I.R$$

$$I = \frac{Q}{t}$$

Maka diperoleh perumusan:

$$W = (I \cdot t) \times V$$

$$W = V \times I \times t$$

$$W = (I \cdot R) \times I \times t$$

$W$  dalam satuan joule, dimana 1 kalori = 0,24 joule. Tetapi yang paling umum satuan listrik adalah menggunakan satuan *kWh* (*kilowatt hour*) (Gupta & Madhu, 1980).

### **Arus Listrik**

Pengoperasian dan penggunaan berbagai perangkat listrik dipengaruhi oleh variasi karakteristik aliran arus yang diketahui dalam pemanfaatan energi listrik. Arus DC dan arus AC adalah dua kategori utama yang membagi sistem aliran arus yang menggunakan energi listrik.

#### **Arus Direct Current (DC)**

Arus searah (DC) adalah salah satu jenis arus listrik yang digunakan dalam berbagai aplikasi kelistrikan. Salah satu jenis aliran elektron disebut arus searah (DC), yang mengalir dari titik energi potensial tinggi ke titik energi potensial rendah. Baterai, sel volta, panel surya, adaptor, dan generator DC adalah beberapa contoh sumber arus DC yang sering digunakan. Material semikonduktor atau konduktor dapat mengalirkan arus searah. Ketentuan untuk menghitung daya dalam arus DC adalah sebagai berikut:

$$P = V \times I \text{ (watt)}$$

#### **Arus Alternating Current (AC)**

Arus bolak-balik berbeda dari arus searah dalam sistem kelistrikan karena beberapa karakteristiknya. Karena polaritas tegangan pada kedua konduktornya berfluktuasi seiring waktu dan tidak ada kutub positif atau negatif yang tetap dalam jaringan ini, arus ini dikenal sebagai arus bolak-balik. Misalnya, dalam jaringan listrik AC 220 V dengan frekuensi 50 Hz, arus berbalik arah setiap 1/50 detik karena polaritasnya berubah 50 kali per detik. Sistem kelistrikan AC satu fasa maupun tiga fasa memiliki keunggulannya masing-masing.

##### **Sistem 1 Phase**

Listrik 1 *phase* adalah jaringan listrik yang hanya menggunakan 2 kabel penghantar yang kesatu sebagai kabel *phase* (L) dan yang kedua sebagai kabel *neutral* (N). Umumnya listrik 1 *phase* bertegangan 220 – 240 V yang paling banyak digunakan.

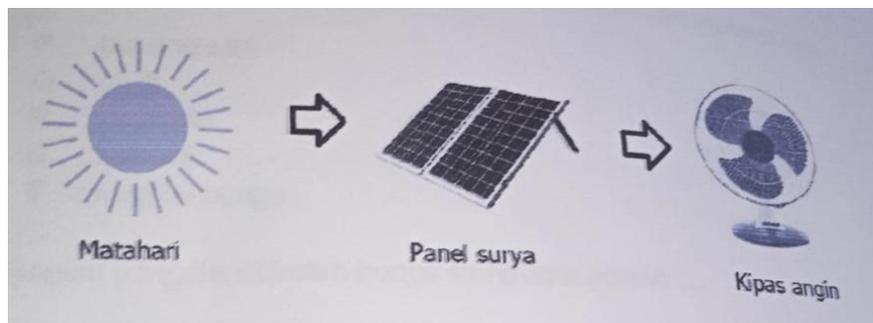
##### **Sistem 3 Phase**

Kabel tiga fasa (R, S, dan T) dan satu kabel netral (N) membentuk jaringan listrik tiga fasa. Menurut terminologi, tiga kabel aktif dan satu kabel netral membentuk listrik tiga fasa. Di pabrik atau lingkungan industri lainnya, daya tiga fasa dengan tegangan 380 V biasanya digunakan.

Fase tunggal dan tiga fase adalah dua jenis sistem kelistrikan utama yang sering digunakan dalam sistem distribusi energi listrik. Sistem arus bolak-balik (AC) dengan tiga konduktor utama yang mengalirkan tegangan yang sama tetapi dengan perbedaan sudut fase 120 derajat dikenal sebagai listrik tiga fase. Karena efisiensi penyaluran daya listriknya yang lebih tinggi, teknologi ini sering digunakan dalam sistem kelistrikan komersial dan industri.

### **Pembangkit Listrik Tenaga Surya**

Tenaga surya merupakan sumber energi yang inovatif, berlimpah, dan ramah lingkungan. Salah satu anugerah terindah dari Allah SWT bagi bangsa ini adalah Indonesia, negara tropis. Bangsa Indonesia memiliki potensi yang tak terhingga untuk membangun teknologi Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) berkat sumber daya ini. Pengembangan PLTS dan pemanfaatan energi surya harus terus dipromosikan sebagai cara strategis untuk memenuhi kebutuhan energi negara secara berkelanjutan dan ramah lingkungan. Dengan memanfaatkan sinar matahari sebagai sumbernya, tenaga surya menghasilkan listrik.



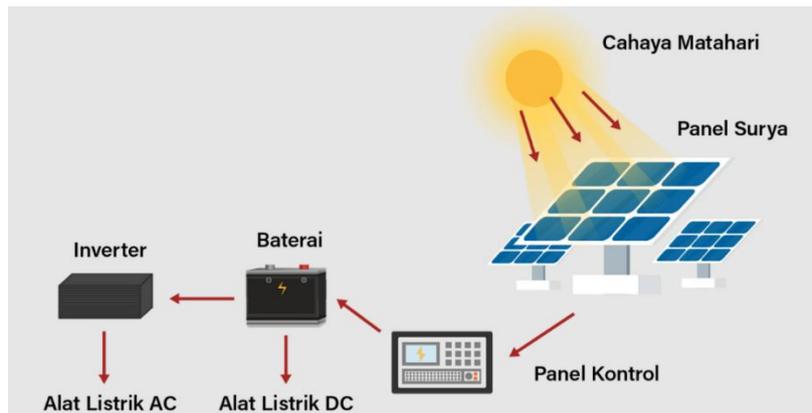
**Gambar 1. Ilustrasi Konversi Energi Matahari Menjadi Energi Listrik**



**Gambar 2. Mekanisme Konversi Energi Surya**

Sistem pembangkit listrik tenaga surya, dalam skala kecil atau besar terdiri dari komponen:

1. Panel surya berfungsi sebagai sumber daya yang akan dikonversikan menjadi listrik
2. *Charge controller* berfungsi sebagai pengontrol pengisi (Purba & Harahap, 2011)
3. Accu diperlukan untuk menyimpan kelebihan daya listrik, yang dapat digunakan saat suplai tidak ada atau terputus. Pada on-grid system accu tidak diperlukan karena pemakain bersifat langsung dan segera.
4. AC/DC inverter adalah berfungsi untuk mengubah arus DC panel surya atau accu menjadi arus bolak-balik/AC.
5. Peralatan lain seperti kabel, koneksi, mounting bracket, sensor temperatur, dan lain-lain.



**Gambar 3. Komponen Dasar Pembangkit Listrik Tenaga Surya**

### Panel Surya

Panel surya terdiri dari susunan sel-sel surya yang dihubungkan secara seri. Sel surya berfungsi mengkonversi cahaya matahari menjadi energi listrik (Armila S. M., 2011). Secara umum, sel surya tersusun dari material semikonduktor, salah satunya adalah silikon. Besarnya daya yang dihasilkan oleh panel surya dipengaruhi oleh intensitas sinar matahari yang diterima, luas area permukaan panel, maka semakin besar pula daya yang dihasilkan. Sebaliknya, peningkatan suhu pada panel justru dapat menyebabkan penurunan daya output.

Panel surya dibangun dari komponen-komponen seperti rangkaian sel surya, lapisan penutup kaca, bingkai aluminium khusus, dan soket. Umur pemakaian panel surya tergolong cukup lama, setidaknya mencapai 20 tahun. Biasanya, produsen panel surya memberikan jaminan terhadap daya output selama rentang waktu antar 10 hingga 25 tahun (Rahardjo, Herlina, & Safruddin, 2007). Dengan daya tahan masa garansi yang panjang, panel surya menjadi investasi jangka panjang yang andal dalam pemanfaatan energi terbarukan, terutama untuk kebutuhan rumah tangga maupun industri.

### Prinsip Kerja Sel Surya

Sel surya bekerja dengan prinsip *p-n junction*, yaitu *junction* antara semikonduktor tipe-p dan tipe-n. Ilustrasi dibawah menggambarkan *junction* semikonduktor tipe-p dan tipe-n. Semikonduktor tipe-n memiliki kelebihan elektron bebas yang bermuatan negatif, sementara semikonduktor tipe-p mengandung kelebihan hole atau kekosongan elektron yang bermuatan positif dalam struktur atomnya. Pembentukan *p-n junction* berfungsi menciptakan medan listrik internal yang memungkinkan pemisahan dan pergerakan elektron serta hole, sehingga muatan tersebut dapat dikumpulkan melalui material kontak untuk menghasilkan arus listrik. Medan listrik ini memainkan peran penting dalam proses konversi energi cahaya menjadi energi listrik, karena memastikan bahwa pembawa muatan bergerak ke arah yang tepat menuju elektroda, sehingga menghasilkan aliran arus yang efisien dalam rangkaian sel surya. Ketika semikonduktor tipe-p dan tipe-n terkontak, maka kelebihan elektron akan bergerak dari semikonduktor tipe-n ke tipe-p sehingga

membentuk kutub positif pada semikonduktor tipe-n, dan sebaliknya kutub negatif pada semikonduktor tipe-p.

Aliran elektron dan hole menyebabkan terbentuknya medan listrik pada struktur *p-n junction*. Ketika cahaya matahari yang mengandung foton mengenai area tersebut, energi foton akan mendorong elektron untuk berpindah dari material semikonduktor menuju kontak negatif, menghasilkan arus listrik. Sementara itu, hole akan bergerak ke arah kontak positif dan menunggu kedatangan elektron. Proses ini digambarkan secara visual pada ilustrasi di bawah.

Energi listrik hasil dari sel surya tersebut berupa arus DC dan bisa langsung digunakan atau bisa juga menggunakan accu sebagai sistem penyimpanan sehingga dapat digunakan pada saat dibutuhkan terutama pada malam hari (Rumahsolarraina, 2021). Dengan adanya sistem penyimpanan menggunakan accu, pemanfaatan energi listrik dari sel surya menjadi lebih fleksibel dan tidak tergantung pada kondisi cuaca atau waktu, sehingga kebutuhan energi tetap dapat terpenuhi meskipun tidak ada sinar matahari.

### **Efisiensi Panel Surya**

Efisiensi panel surya merupakan parameter yang menunjukkan perbandingan antara daya listrik yang dihasilkan (dalam satuan watt) dengan luas permukaan panel yang digunakan. Panel surya dengan efisiensi tinggi mampu mengonversi energi matahari menjadi listrik dalam jumlah yang lebih besar, meskipun memiliki dimensi fisik yang sama dengan panel berdaya efisiensi lebih rendah. Perhitungan efisiensi panel surya dapat dilakukan dengan rumus:

$$\eta_{max} = \frac{P_{max}(\text{max power output})}{(E_{SY}^{SW}(\text{indirect radiation flux}) \times A_c(\text{Area of collector}))} \times 100\%.$$

Semakin besar efisiensi panel surya maka semakin tinggi energi listrik yang dihasilkan, semakin besar efisiensi sebuah panel surya maka semakin efektif penggunaan ruang untuk pemasangan sel surya (Nelson, 2003).

### **Inverter dan Fungsinya**

Inverter merupakan perangkat elektronik yang berfungsi untuk mengonversi arus listrik searah (DC) menjadi arus listrik bolak-balik (AC) dengan tegangan dan frekuensi yang telah disesuaikan berdasarkan desain sistemnya. Arus searah yang menjadi input bagi inverter dapat berasal dari berbagai sumber, seperti baterai (accu), generator DC, maupun panel surya. Kehadiran inverter sangat krusial dalam sistem tenaga surya, terutama karena sebagian besar peralatan rumah tangga dan industri menggunakan arus bolak-balik (AC), sehingga diperlukan proses konversi dari sumber energi DC agar dapat digunakan secara efektif dan aman.

### **Akumulator (Accu)**

Akumulator, atau yang lebih dikenal dengan accu, adalah perangkat yang berfungsi untuk menerima, menyimpan, serta melepaskan energi listrik melalui reaksi elektrokimia yang berlangsung di dalamnya.

## Konstruksi Akumulator

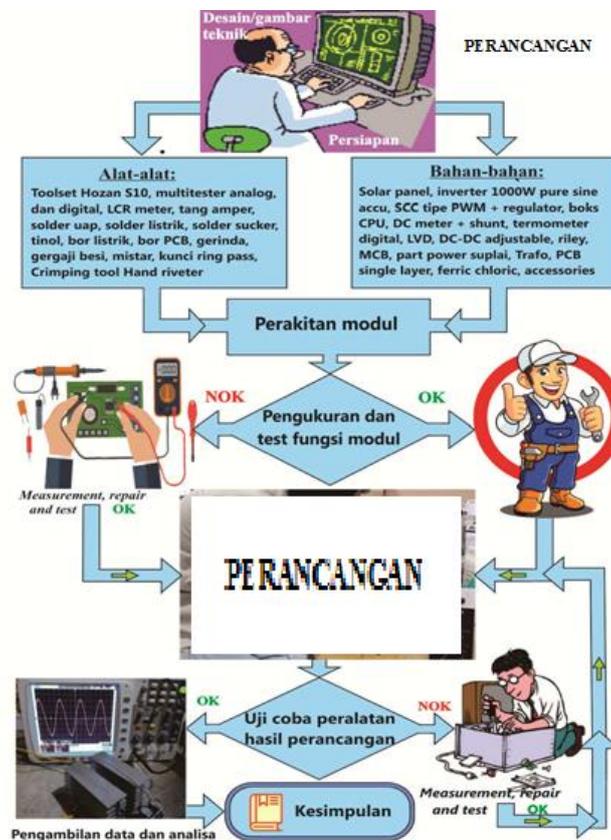
Struktur accu terdiri dari lempeng timbal dioksida dan timbal murni yang disusun secara berselang-seling, membentuk pasangan sel akumulator yang berdekatan satu sama lain. Setiap pasangan sel dipisahkan menggunakan bahan isolator sebagai penyekat, kemudian seluruh komponen tersebut ditempatkan dalam wadah yang juga terbuat dari material isolatif guna memastikan keamanan dan kestabilan operasionalnya (Iman, 2015). Beda potensial setiap sel akumulator adalah 2 volt. Kemampuan akumulator dalam mengalirkan arus listrik disebut kapasitas akumulator, yang dinyatakan dengan satuan ampere hour (Ah).

## Material Kontruksi/Dudukan Solar Panel

Untuk membuat rangka solar panel menggunakan material *HSS (Hollow Structural Section)* 40 x 40 x 2 mm. Merupakan kategori baja karbon rendah - sedang yang memiliki berat jenis 14,45 kg digunakan dalam suatu kosntruksi dengan berbagai jenis dan bentuk yang ada dipasaran. Setiap bentuk profil memiliki sifat mekanik dan karakteristik yang berbeda dengan bentuk yang lain sehingga penggunaanya harus disesuaikan dengan kegunaan dan fungsi pada suatu konstruksi (Armila S. M., 2018). Dari berat jenis material dipastikan mampu menahan beban solar panel yang hanya memiliki bobot 8,5 kg.

## METODOLOGI PERANCANGAN

### Diagram Alir Perancangan



Gambar 4. Diagram Alir Perancangan

Dalam perancangan sumber listrik tenaga surya 1000 watt sebagai sumber cadangan suplai listrik dengan sistem hibrid di rancang menghasilkan suatu alat yang dapat menjadi sumber listrik cadangan bagi peralatan yang dicatunya.

## **Alat-alat yang Digunakan**

### **1. Toolset electrical**

*Toolset electrical* merupakan peralatan utama dalam melaksanakan semua kegiatan baik perancangan, perbaikan ataupun pemeliharaan suatu peralatan elektronik. Dalam perancangan ini menggunakan *toolset* merk Hozan tipe S-10 yang sesuai dengan proses pelaksanaan pekerjaanya.

### **2. Multitester analog**

Merupakan alat ukur komponen elektronik dan kelistrikan dengan hasil ukur ditunjukkan jarum penunjuk dengan pembacaan sesuai skala yang dipilih. Multitester analog yang digunakan merk Sanwa tipe YX-360TRF.

### **3. Multitester digital**

Merupakan alat ukur komponen elektronik dan kelistrikan dengan hasil ukur ditunjukkan pada display digital. Multitester digital yang digunakan merk Excel tipe DT9205A untuk pengukuran tegangan AC dan DC, dimana hasil pengukuran tegangan lebih presisi dan akurat dari multitester analog, mengurangi salah pembacaan karena hasil pengukuran ditampilkan dalam bentuk angka dan tanpa harus di kali skala.

### **4. LCR meter**

Merupakan alat untuk pengukuran besaran induktansi, kapasitansi, dan resistansi dari komponen elektronika. LCR meter yang digunakan merk Extech tipe LCR200 yang digunakan untuk pengukuran induktansi output power suplai, kapasitor dan resistor yang ada dan digunakan dalam perancangan ini.

### **5. Mini clamp meter**

*Mini clamp meter* merupakan alat ukur besaran arus listrik tanpa harus memotong jalur yang diukur. *Mini clamp meter* yang digunakan merk Kyoritsu tipe Kew Snap-2004, alat ukur ini dapat mengukur arus dan tegangan AC dan DC serta besaran resistansi.

### **6. Solder uap**

Solder uap, atau dikenal juga sebagai hot air blower, adalah alat elektronik yang menghasilkan aliran udara panas dan umumnya digunakan dalam proses perancangan maupun perbaikan rangkaian elektronik. Alat ini sangat efektif untuk melepas dan memasang komponen-komponen permukaan (SMD) tanpa merusak jalur pada papan sirkuit, sehingga banyak digunakan dalam pekerjaan elektronik berpresisi tinggi. Temperatur udara panas dan kecepatan hembusan udara dapat diatur sesuai kebutuhan. Solder uap yang digunakan merk Quick tipe 857D.

### **7. Solder listrik, solder sucker dan flux core alpha solder wire**

Dalam pekerjaan perakitan dan perbaikan perangkat elektronik, alat penyolder menjadi salah satu komponen yang sangat vital. Solder listrik merupakan alat penyambung logam yang memanfaatkan elemen pemanas bertenaga listrik untuk mengubah energi listrik menjadi panas. Panas tersebut digunakan untuk mengikat komponen dengan benda kerja melalui proses peleburan logam solder. Pada praktik ini, jenis solder listrik yang digunakan adalah Dekko tipe Presto DQ-77N.

*Solder sucker* atau sedotan timah merupakan alat bantu untuk menghisap timah dalam kondisi cair sehingga terpisah dari benda kerja. *Solder sucker* yang digunakan merk Dekko tipe DS-200. *Flux core* (tinol) merupakan material alloy perak-timah berbentuk gulungan yang digunakan sebagai material untuk mengikat benda kerja dengan komponen dengan proses penyolderan. *Flux core* yang digunakan merk *Alpha solder wire* merupakan alloy dengan komposisi perak/timah 60/40 diameter  $\varphi$  0,8 mm.

### **8. Bor listrik dan mata bor besi**

Dalam kegiatan perakitan dan pemeliharaan perangkat berbasis elektronik dan mekanik, alat bantu seperti bor listrik sangat diperlukan untuk mendukung efisiensi kerja. Bor listrik adalah alat yang berfungsi mengubah energi listrik menjadi energi mekanik berupa putaran pada rotor, yang kemudian diteruskan ke chuck drill sebagai pengunci mata bor. Alat ini umumnya digunakan untuk membuat lubang pada berbagai jenis material. Pada kegiatan ini, bor listrik yang digunakan adalah merk Metabo tipe SB650/2S. Mata bor besi (*iron drill bits*) merupakan sebuah alat yang biasa digunakan untuk membuat lobang pada material besi yang di putar menggunakan bor. Mata bor besi yang digunakan merk Dormer tipe A-90 (satu set ukuran 1 – 13 mm).

### **9. Bor PCB**

Dalam proses pembuatan maupun modifikasi papan rangkaian cetak (PCB), diperlukan alat bantu presisi untuk membuat lubang sesuai kebutuhan komponen elektronik. Bor PCB merupakan perangkat yang berfungsi mengubah energi listrik searah (DC) menjadi energi gerak rotasi pada rotor, yang kemudian disalurkan ke chuck drill sebagai penjepit mata bor. Alat ini dirancang khusus untuk membuat lubang pada papan sirkuit cetak (PCB) dengan tingkat akurasi tinggi. Bor PCB biasanya menggunakan arus DC dan ukurannya kecil, menggunakan mata bor antara 0,3 mm – 3 mm. Bor PCB yang digunakan merk Kleber tipe LYK 100-011 dengan power suplai merk Klop tipe C122000-A1 2 A dan 1 set mata bor HSS merk Feibad.

### **10. Gerinda tangan**

Dalam kegiatan perakitan maupun pemeliharaan perangkat teknik dan logam, alat pemotong dan pengikis seperti gerinda sangat dibutuhkan untuk menunjang ketepatan dan efisiensi kerja. Gerinda tangan merupakan perangkat kerja yang mengubah energi listrik searah (DC) menjadi gerakan rotasi pada rotor, yang kemudian dialirkan keudukan mata gerinda. Alat ini umum digunakan untuk proses pemotongan maupun pengikisan material. Disebut gerinda tangan karena penggunaannya dilakukan tanpa dudukan tetap dan dioperasikan secara manual dengan kedua tangan.

### **11. Gergaji besi**

Gergaji besi (*hack saw*) adalah jenis gergaji yang umumnya digunakan untuk memotong material logam, akan tetapi gergaji ini juga sering digunakan untuk memotong material lainnya seperti pvc. Mata gergaji besi yang digunakan merk Sandflex tipe 24 TPI/10D 12"/300 mm.

### **12. Mistar (penggaris)**

Mistar merupakan sebuah alat pengukur dan alat bantu untuk membuat gambar lurus pada bidang datar yang berdimensi kecil. Mistar umumnya memiliki skala terkecil 1 mm yang berarti memiliki ketelitian pengukuran 0,5 mm (setengah dari skala terkecil yang dimiliki). Mistar yang digunakan merk Microtop tipe 300 mm.

### **13. Kunci ring-pass**

Dalam pekerjaan perakitan maupun perawatan perangkat mekanik, penggunaan alat bantu yang tepat sangat diperlukan untuk memastikan hasil kerja yang optimal. Kunci *ring-pass* adalah salah satu alat bantu mekanik yang berfungsi untuk mengencangkan atau melonggarkan baut dan mur. Alat ini memiliki dua ujung berbeda, yaitu satu sisi berbentuk huruf U (*pass*) dan sisi lainnya berupa cincin (*ring*) dengan profil bagian dalam berbentuk segi enam (*hexagonal*) yang sesuai dengan bentuk kepala baut atau mur.

### **14. Crimping Press Skun Cable**

*Crimping press skun cable* merupakan alat berupa tang khusus yang digunakan untuk press skun kabel. Alat ini memastikan sambungan antara kabel dan terminal skun menjadi kuat dan stabil, sehingga dapat mengoptimalkan aliran arus listrik serta meminimalkan risiko hubungan longgar atau terputus dalam instalasi kelistrikan.

### **15. Hand Riveter**

*Hand riveter* merupakan alat untuk menyambung atau mengunci material menggunakan rivet (paku keling) yang menggunakan tekanan tangan dalam pengoperasiannya.

## **Bahan yang Digunakan**

### **1. Panel surya**

Panel surya merupakan kumpulan sel surya yaitu P-N *junction* silikon kristal yang dikenal *photovoltaic* berfungsi menyerap dan mengkonversi energi sinar matahari menjadi energi listrik, yang di tata sedemikian rupa membentuk panel agar efektif menyerap dan mengkonversi energi sinar matahari. Panel surya yang digunakan jenis *monocrystalline* merk Maysun tipe MS120M-36 yang memiliki daya maksimum 120 watt.

### **2. Inverter**

Inverter merupakan rangkaian elektronik yang berfungsi mengkonversi arus listrik searah menjadi arus listrik bolak-balik pada tegangan dan frekuensi yang sesuai dengan rancangan rangkaiannya. Inverter yang digunakan merupakan kit inverter tipe 12 volt 1000 watt dengan *display* LCD dan gelombang arus AC keluarannya berbentuk *pure sine wave* dengan efisiensi 87%.

### **3. Akumulator (accu)**

Akumulator merupakan sebuah alat yang berfungsi menerima dan menyimpan energi (umumnya energi listrik) dan mengeluarkan energi listrik arus searah, melalui proses kimia (Iman, 2015). Akumulator yang digunakan dalam perancangan ini merk Hankook tipe 50B24R 12V-45Ah.

Merupakan accu jenis *Valve-Regulated Lead Acid*, juga disebut *Sealed Maintenance Free*. Accu jenis ini memiliki katup ventilasi yang hanya terbuka pada tekanan yang ekstrem untuk pembuangan gas hasil reaksi kimianya. Tidak ada katup untuk isi ulang cairan elektrolitnya, karenanya dikenal dengan aki bebas perawatan (*Sealed Maintenance Free*).

#### **4. Solar Charge Controller (SCC)**

SCC merupakan alat yang berfungsi mengontrol tegangan dan arus saat proses pengisian accu agar efektif dan accu terhindar dari kerusakan akibat *over charging* serta mencegah adanya arus balik saat panel surya tidak bekerja. SCC yang digunakan merk Sunpro tipe PWM 30A 12 – 24 V DC, merupakan SCC yang menggunakan sistem *Pulse Width Modulation* (PWM) yaitu sistem pengisian accu tegangan konstan, dengan laju pengisian dikontrol disesuaikan dengan *State of Charge* (SOC) accu.

#### **5. KWh DC ammeter dan shunt**

DC ammeter merupakan alat ukur untuk mengetahui besaran tegangan dan arus DC yang mengalir pada suatu beban atau rangkaian elektronika tertutup yang dipasang secara seri dengan beban. DC ammeter yang digunakan merk Peacefair tipe PZEM-051. Shunt merupakan resistor *solid* yang memiliki resistansi presisi yang dapat dijadikan acuan pengukuran arus melalui *drop* tegangan akibat resistansinya.

Shunt yang digunakan dalam perancangan ini tipe FL-02 0,5% yang mampu dialiri beban 100 A dengan *drop* tegangan 75 mV.

#### **6. Casing Personal Computer**

Dalam merancang sistem kelistrikan berbasis energi surya, perlindungan terhadap perangkat keras menjadi salah satu aspek penting guna menjaga kinerja dan keamanannya. Casing komputer pribadi (PC casing) merupakan struktur berbentuk kotak yang berfungsi sebagai pelindung fisik bagi komponen internal komputer dari benturan atau gangguan eksternal. Dalam konteks perancangan sistem pembangkit listrik tenaga surya berkapasitas 1000 watt, casing ini dimanfaatkan sebagai wadah penyusun seluruh perangkat guna mencegah kerusakan akibat faktor lingkungan atau kesalahan penanganan.

#### **7. Termometer digital**

Termometer digital merupakan alat ukur temperatur dimana hasil pengukuran ditampilkan dalam bentuk angka pada displaynya. Termometer digital dalam perancangan ini menggunakan sensor tipe NTC (10K/3435) dengan kabel sensor *waterproof* dan tegangan kerja 1,5 V.

#### **8. Low Voltage Disconnect Protection (LVD)**

LVD merupakan suatu modul yang dapat memutus tegangan ke beban saat tegangan input mencapai batas minimal dan kembali mencatu beban saat tegangan input mencapai nilai

batas minimal + histeresis tegangannya, batas minimal dan histeresis tegangannya dapat di set sampai interval tertentu sesuai kebutuhan. *Low voltage disconnect protection* yang digunakan tipe LVD XH-M609.

### **9. DC-DC Adjustable Step Down**

*DC-DC adjustable step down* merupakan rangkaian elektronik penurun tegangan dimana *input* dan *outputnya* DC, dengan tegangan *out* dapat di setting sesuai kebutuhan. *DC-DC adjustable step down* yang digunakan tipe LM2596, yang digunakan untuk catu daya 2 unit termometer digital yang pabrikasinya masing- masing menggunakan 2 buah batterai tipe AG13/LR44.

### **10. Riley**

Riley merupakan saklar elektromekanikal yang pengoperasiannya menggunakan prinsip elektromagnetik. Riley yang digunakan tipe MK2P-I dengan coil AC dan tipe MK2P-I coil DC.

### **11. Miniatur Circuit Breaker (MCB)**

MCB merupakan komponen listrik yang dapat memutus arus saat terjadi *overlod* pada beban yang dicatunya. MCB yang digunakan terdapat dua jenis yaitu MCB AC dan MCB DC.

### **12. Komponen power suplai**

Komponen power suplai merupakan part elektronik yang memiliki fungsi yang dapat mendukung dari fungsi power suplai saat terjadinya interkoneksi antar komponen melalui PCB.

### **13. Accessories**

*Accessories* merupakan komponen tambahan yang berfungsi mendukung kinerja utama suatu perangkat. Dalam konteks ini, kombinasi dari seluruh aksesoris tersebut berperan dalam menunjang sistem pembangkitan listrik tenaga surya berkapasitas 1000 watt sebagai sumber cadangan daya listrik berbasis sistem hibrida. Beberapa contoh aksesoris yang digunakan meliputi kabel, skun kabel, pengikat kabel (*cable ties*), stop kontak, dan elemen pendukung lainnya.

## **Perakitan Modul**

### **1. Modul Inverter**

Untuk merakit inverter langkah pertama adalah menggambar *wiring diagram* rangkaiannya yang tentunya disesuaikan dengan spesifikasi hasil akhir yang diharapkan. *Wiring* tersebut dituangkan dalam gambar *black white* menggunakan aplikasi CorelDraw untuk dicetak di PCB polos *double layer* sebagai media interkoneksi antar komponen setelah dilarut menggunakan feri klorida ( $\text{FeCl}_3$ ). *Black white* blok diagram *printed circuit board inverter 1000W*.

### **2. Modul Power Suplai**

*Power suplai* diperlukan sebagai *backup charger* saat energi matahari dibawah *limit voltage charging*. *Power suplai* hasil rancangan merupakan catu daya linier yang ter-regulasi. *Wiring*

*diagram power suplai* dituangkan dalam gambar *black white* menggunakan PCB polos *single layer* mengingat sistemnya sederhana.

### **3. Running Test Module**

*Running test Module* dilakukan dengan cara pengukuran aktif saat operasional dan fungsi setting semua modul dan komponen yang akan digunakan.

### **4. SCC**

Pengujian SCC menggunakan panel surya dan *power supply adjustable*. Dari pengujian SCC berfungsi tetapi tegangan charging terlalu tinggi 15 V. Tegangan *float* SCC diseting pada 13,8 V (*charging* 15%) dan tegangan minimum 12,1 V.

### **5. Low Voltage Disconnect Protection (LVD)**

Pengujian LVD menggunakan *power supply adjustable* dan dipastikan LVD berfungsi normal, yang diseting pada tegangan minimum 12,1 V DC dan tegangan histeresisnya 0,9 V DC setingan ini berfungsi memutus tegangan dari panel surya saat tegangan < 12,1 V dan kembali tersambung saat tegangan panel surya mencapai  $\geq 13 \text{ V}$  ( $12,1 \text{ V} + 0,9\text{V}$ ).

### **6. Termometer digital**

Dua unit alat ukur ini diuji secara serentak dalam kondisi yang sama untuk memastikan akurasi dari kedua alat ukur.

### **7. Power suplai**

Merupakan *charger* cadangan yang di set dengan tegangan 13,68 V setara dengan 14% proses *charging* yang bekerja saat tenaga listrik yang dihasilkan panel surya < 12,1 V dan diuji dengan tegangan listrik 220 V AC.

### **8. DC-DC Adjustable Step Down**

Pengujian *DC-DC adjustable step down* dengan tegangan input 13,8 V DC dan keluarannya dapat diatur melalui potensiometer. Dalam pengujian keluaran diatur 1,5 V DC sebagai suplai power 2 unit termometer digital.

### **Perakitan**

Perakitan dilakukan dengan memasang semua modul dan komponen yang sesuai dengan fungsinya untuk menghasilkan sumber listrik tenaga surya 1000 W dengan sistem hibrid. Adapun desain dari sumber ini dijelaskan dengan dua mode:

**Mode I:** Beban di catu menggunakan inverter dengan sumber energi dari accu yang *discharge* secara kontinyu dari panel surya atau PLN. Beban tidak terganggu saat gangguan listrik tetapi hanya mampu 104 W, sesuai kapasitas *charger* dari panel surya atau power suplai.

**Mode II:** Pada saat PLN on beban dicatu PLN, saat PLN off beban langsung dicatu inverter, dan saat PLN on beban otomatis dicatu kembali PLN. Beban yang dapat di catu 870 watt, gangguan saat pertukaran energi listrik sekitar 0,3 detik.

## DATA DAN ANALISA

### Data Efisiensi Panel Surya

Untuk menghitung efisiensi panel surya kita perlu mengetahui dimensi sel surya yang digunakan, berikut dimensi panel surya hasil pengukuran langsung:

#### Menghitung efisiensi panel surya:

$$A_C \text{ Area of Collector @ Cell} = (210 \times 156) \text{ mm} - (7 \times 7 \times 2) \text{ mm}$$

$$A_C \text{ Area of Collector @ Cell} = (32760 - 98) \text{ mm}$$

$$A_C \text{ Area of Collector @ Cell} = 32662 \text{ mm}^2 = 0,032662 \text{ m}^2$$

$$A_C \text{ Area of Collector} = 0,032662 \text{ m}^2 \times 18 = 0,587916 \text{ m}^2$$

$$\eta_{max} = \frac{P_{max}(\text{max power output})}{(E_{SY}^{SW}(\text{indirect radiation flux}) \times A_C(\text{Area of collector}))} \times 100\%$$

$$\eta_{max} = \frac{120 \text{ W}}{1000 \frac{\text{W}}{\text{m}^2} \times 0,58791 \text{ m}^2} \times 100\%$$

$$\eta_{max} = \frac{120 \text{ W}}{587,91 \text{ W}} \times 100\% = 20,4113\%$$

#### Data tegangan minimal *Low Voltage Disconnection (LVD)*

LVD minimum diatur pada 12,1 V DC yang artinya jika tegangan *input* < 12,1 V maka LVD akan memberikan *triger* pada riley DC untuk memindahkan sistem *charging* ke power suplai (PLN).

#### Data tegangan histerisis *Low Voltage Disconnection (LVD)*

Tegangan histeresis diseting pada 0,9 V, dimana LVD akan memindahkan sistem *charging* ke panel surya saat tegangannya mencapai  $\geq 13$  V (tegangan minimum 12,1 V ditambah tegangan histeresis 0,9 V).

#### *Wiring diagram* power suplai

*Wiring diagram* diatas merupakan rancangan *power suplai linier* ter-regulasi menggunakan transistor 2N3055 dengan daya output 12 VDC - 13,8 VDC 35 A

#### Data arus *charging*

Power suplai dirancang sebagai *charger* cadangan untuk accu yang kapasitasnya 45 Ah dimana standar arus pengisian 10% - 15% dari kapasitas accu . Data ini dipakai untuk menentukan komponen yang sesuai daya yang diizinkan.

#### Data tegangan keluaran power suplai

Standar tegangan pengisian accu adalah 10% - 15%. Accu yang digunakan memiliki tegangan 12 VDC, maka data tegangan yang diperlukan adalah: Dari data diatas maka untuk pengisian accu agar selalu dalam kondisi yang baik maka beda potensial yang tepat antara 13,2 V - 13,8 V

Berikut data pengisian accu dan tegangan sesuai standar yaitu (10% - 15%), dan untuk power suplai dirancang pada tegangan pengisian 13,68 V (14%).

**Tabel 1. Hubungan Pengisian Dan Tegangan Yang Digunakan**

<i>Tegangan accu (V)</i>	<i>isian accu (%)</i>	$\frac{\%}{100} \times 12 V$	<i>Tegangan pengisian</i>
12	10,0	1,21	13,20
12	10,4	1,25	13,26
12	11,0	1,31	13,31
12	11,6	1,37	13,37
12	12,0	1,43	13,43
12	12,6	1,51	13,49
12	13,1	1,55	13,55
12	13,4	1,62	13,61
12	<b>14,1</b>	<b>1,67</b>	<b>13,67</b>
12	14,6	1,73	13,73
12	<b>15,1</b>	<b>1,79</b>	<b>13,79</b>

#### **Data transistor 2N3055**

Untuk mendapatkan daya power suplai 10 A diperlukan transistor NPN 2N3055 dengan jumlah memadai. Data sekunder untuk daya maksimum 1 buah transistor 2N3055 adalah 5 A tetapi optimalnya digunakan pada daya 3 A untuk itu agar transistor aman dan dapat digunakan dalam waktu lama, maka diperlukan menghitungnya terlebih dahulu sebelum menentukan jumlah transistor yang akan dipakai:

$$\frac{10}{3} = 3,33 \text{ buah transistor}$$

Dari data diatas maka transistor yang digunakan adalah 4 unit.

#### **Data resistansi out transistor 2N3055**

Daya yang diperlukan keluaran power suplai yaitu 10 A, dan dari perhitungan diatas membutuhkan 4 transistor 2N3055. Agar kinerja keempat transistor merata (*balance*) sehingga terjadi pembebanan berlebih pada salah satu transistor yang dapat menyebabkan kerusakan, maka *output emitter* dari transistor tersebut perlu diberikan resistansi yang tepat sebelum digabung dari keempat transistor. Untuk menentukan nilai resistansi tersebut dapat dihitung sebagai berikut:

$$\frac{10}{4} = 2,25$$

Transistor 2N3055 dengan material germanium memiliki beda potensial antara basis dengan colector adalah 0,6 V, sehingga:

$$\frac{0,6}{2,25} = 0,267\Omega$$

Dengan demikian nilai resistor yang digunakan berkisar 0,267  $\Omega$  daya 5 W.

#### **Data tegangan pengisian dan sumber yang digunakan**

**Tabel 4.2. Hubungan Tegangan Panel Surya Dengan Sistem Pengisian**

<b>Tegangan accu (V)</b>	<b>Tegangan panel surya (V)</b>	<b>Tegangan power suplai (V)</b>	<b>Tegangan charger (V)</b>	<b>Sumber tegangan yang diteruskan (otomatis)</b>	<b>Persentasi pengisian accu (%)</b>
<b>12,00</b>	17,79	13,59	13,79	Panel surya	<b>14,55</b>
<b>12,00</b>	16,11	13,59	13,79	Panel surya	<b>14,55</b>
<b>12,00</b>	15,11	13,59	13,79	Panel surya	<b>14,55</b>
<b>12,00</b>	14,11	13,59	13,79	Panel surya	<b>14,55</b>
<b>12,00</b>	13,79	13,59	13,79	Panel surya	<b>13,77</b>
<b>12,00</b>	13,11	13,59	13,11	Panel surya	<b>8,22</b>
<b>12,00</b>	12,49	13,59	12,35	Panel surya	<b>3,79</b>
<b>12,00</b>	12,09	13,59	12,11	Panel surya	<b>0,44</b>
<b>12,00</b>	<b>12,11</b>	<b>13,59</b>	<b>13,59</b>	<b>PLN</b>	<b>13,77</b>
<b>12,00</b>	<b>11,11</b>	<b>13,59</b>	<b>13,59</b>	<b>PLN</b>	<b>13,77</b>
<b>12,00</b>	<b>10,11</b>	<b>13,59</b>	<b>13,59</b>	<b>PLN</b>	<b>13,77</b>
<b>12,00</b>	<b>9,12</b>	<b>13,59</b>	<b>13,59</b>	<b>PLN</b>	<b>13,77</b>
<b>12,00</b>	<b>11,11</b>	<b>13,59</b>	<b>13,59</b>	<b>PLN</b>	<b>13,77</b>
<b>12,00</b>	<b>12,11</b>	<b>13,71</b>	<b>13,71</b>	<b>PLN</b>	<b>13,77</b>
<b>12,00</b>	<b>12,87</b>	<b>13,71</b>	<b>13,71</b>	<b>PLN</b>	<b>13,77</b>
<b>12,00</b>	13,11	13,77	12,89	Panel surya	<b>7,79</b>
<b>12,00</b>	14,11	13,71	13,89	Panel surya	<b>14,77</b>
<b>12,00</b>	<b>15,11</b>	<b>13,77</b>	<b>13,79</b>	<b>Panel surya</b>	<b>14,55</b>

**Data pengukuran beban dan *autonomie accumulator***

Pengukuran *autonomie accumulator* diukur dengan kondisi *charging* dari panel

surya dan power suplai tidak tersambung, beban murni dari accu. Dari pengukuran diketahui beban pasif unit 5,8 W – 6 W.

Berikut data hasil pengujian beban fasif dan beban aktif inverter dengan beberapa variasi beban.

**Tabel 3. Data Beban Fasif, Aktif, Arus Total Dan Waktu Backup**

Beban fasif (W)	Beban aktif (W)	Beban total (W)	Arus total terpakai (A)	Waktu backup beban (jam) asumsi SOH 100%
5,89	3	8,89	0,69	52,69
5,89	5	10,89	0,79	43,11
5,89	10	15,89	1,29	29,59
5,89	18	23,89	1,88	19,79
5,89	25	30,89	2,49	15,31
5,89	40	45,89	3,79	10,29

Perhitungan *autonomie accumulator* (tabel 3) diatas hanya berlaku pada kondisi:

1. *State Of Health* (SOH) dan *State Of Charger* (SOC): 100%
2. Beban yang digunakan stabil
3. Accu tidak tersambung ke sistem *charging*

### ANALISA

Prinsip kerja sumber listrik tenaga surya 1000 watt dengan sistem hibrid secara teknis dapat dgambarkan melalui wiring diagram dibawah ini: Diagram diatas menerangkan bahwa panel surya mengkonversi radiasi matahari menjadi energi listrik (DC) dengan kapasitas maksimum 120 W pada *Voltage at Pmax (Vmp)* 18,2 V, *Current at Pmax (Imp)* 6,67 A, dimana energi listrik masuk ke *Solar Charge Controller (SCC)* dan *Low Voltage Disconnect Protection Battery LVD XH-M609*.

SCC berfungsi mengatur tegangan dan arus dalam pengisian accu, untuk mengantisipasi *over charging* yang dapat merusak accu maupun panel surya. Energi matahari tidak selamanya dapat digunakan sebagai *charger* accu, pada malam hari atau cuaca mendung. Sesuai dengan judul yang mengusung tema sistem hibrid maka kekosongan tersebut diantisipasi menggunakan LVD. Dimana prinsip kerja LVD sebagai control *change over system charging* ketika tegangan panel surya mencapai batas minimal (< 12,1 V) otomatis *system charging* di pindah ke power suplai (PLN) yang memiliki tegangan out 13,68 V (*charging* 14%). *System charging* tersambung kembali ke panel surya saat

tegangannya mencapai  $\geq 13$  V yang merupakan tegangan minimum dari penjumlahan ( $12,1$  V +  $0,9$  V tegangan histerisis). Sistem ini menjadikan panel surya sebagai sumber utama sehingga pemanfaatan energi sinar matahari optimum, sedangkan power suplai yang sumber energinya dari (PLN) merupakan *charger* cadangan seperti yang diilustrasikan pada grafik 4.2.

Energi dari panel surya digunakan mencatu beban dan jika energi yang dihasilkan panel surya lebih besar, maka kelebihan energi disimpan dalam accu yang dapat digunakan saat beban melebihi kapasitas *charging*. Pada saat energi matahari tidak tersedia dan listrik dari PLN off, maka energi untuk mencatu beban murni dari energi yang disimpan dalam accu. Waktu untuk *autonomie accumulator* pada kondisi ini tergantung dari beban yang digunakan, kapasitas accu, efisiensi unit, *State of Charge (SOC)* dan *State Of Health (SOH)* accu.

Tegangan dari accu masuk ke inverter melalui MCB DC 63 A sebagai antisipasi adanya korsleting pada inverter, agar tidak menimbulkan kebakaran. Kutub negatif accu terhubung ke inverter melalui shunt sebagai acuan pengukuran arus, tegangan dan energi yang digunakan inverter, melalui penurunan tegangan 75 mV pada *load* 100 A, yang dibaca oleh kWh DC meter. Agar power suplai handal dan aman digunakan dalam jangka panjang maka perancangan power suplai diambil pada standar *charging* tertinggi yaitu 15% (6,75 A). dengan demikian komponen yang digunakan memiliki daya lebih besar dari yang dibutuhkan.

## **KESIMPULAN DAN SARAN**

### **1. Kesimpulan**

Perancangan sistem pembangkit listrik tenaga surya 1000 watt dengan konfigurasi hibrida dilakukan dengan mempertimbangkan efisiensi penggunaan daya, yang dibatasi maksimal 86% dari total kapasitas untuk menghindari kerusakan akibat kelebihan beban. Berdasarkan hasil pengujian dan pengukuran, beberapa kesimpulan utama dapat ditarik: perancangan sistem beroperasi secara efisien; terdapat korelasi linear antara tegangan dan arus pengisi daya, sementara terdapat korelasi terbalik dengan durasi pengisian daya; waktu pengoperasian akumulator secara otonom menunjukkan hubungan terbalik dengan beban keseluruhan (baik aktif maupun pasif); dan efisiensi panel surya yang digunakan adalah 20,4%.

### **2. Saran**

Kemajuan teknologi energi terbarukan menawarkan keuntungan praktis dalam memenuhi kebutuhan energi dan berperan sebagai alat pendidikan yang bermanfaat di pendidikan tinggi. Rancangan ini diharapkan dapat menjadi landasan bagi penelitian lanjutan oleh mahasiswa dan akademisi, untuk meningkatkan sistem sebagai sumber alternatif energi terbarukan, sekaligus membantu peningkatan kualitas sains dan proses pendidikan di lingkungan akademik.

## **DAFTAR PUSTAKA**

Armila, S. M. (2018). Panduan Praktikum Metalurgi Mekanik. Bukittinggi: FT-Mesin/FT-UM Sumbar.

- Baharuddin, & Ishak, M. T. (2021). Analisis Ketersediaan Radiasi Matahari di Makassar. Hasil Penelitian Fakultas Teknik. 6, p. 5. Jurusan Arsitektur, Fakultas Teknik, Universitas Hasanuddin, Makassar.
- Duka, E., Setiawan, N., & AntoniusWeking. (2018). Perencanaan Pembangkit Listrik Tenaga Surya Hybrid. E-Journal SPEKTRUM, 5.
- Eugene.C. (1993). Mesin dan Rangkaian Listrik. (H. Gunawan, Trans.) Bandung: ITB Bandung.
- Gupta, & Madhu. (1980). Ohm and Ohm's Law. George Simon. San Diego State University. DOI:10.1109/TE.1980.432140
- Hagendoorm.J.JM. (1989). Kontruksi Mesin 2. (P. R. Kamajaya1996, Trans.) Jakarta: Ganecca Exact Bandung.
- Iman. (2015, Juli). Akumulator, Pemakaian dan Perawatannya. Metana, Vol 11, PSD III. Teknik Elektro Universitas Dipenogoro, Jl.Prof Sudarto,SH Tembalang Semarang.
- Rahardjo, A., Herlina, & Safruddin, H. (2007). Optimalisasi Pemanfaatan Sel Surya Pada Bangunan Komersial. Seminar Nasional Sains Dan Teknologi II, 2(Universitas Indonesia), 978-979.