

RANCANG BANGUN PEMBANGKIT TENAGA SURYA (PLTS) 200WP UNTUK SUPPLAI DAYA SISTEM KENDALI DAN MONITORING PEMELIHARAAN TANAMAN MEDIA AIR

Oleh : Ahmad Nurus Sifa¹, Triyono², Akhmad Jamaah Firdaus³, Mohammad Khambali⁴

Mahasiswa dan Staf Pengajar Jurusan Teknik Elektro Politeknik Negeri Semarang

Jl.Prof . Sudarto SH,Tembalang Semarang 50275

Abstrak

Kebutuhan akan penggunaan energy listrik pada era sekarang semakin meningkat. Oleh sebab itu diperlukan sumber energy listrik yang dapat diperbaharui dan ramah lingkungan dengan tujuan supaya bisa menjaga kelestarian alam serta dapat memenuhi kebutuhan akan energy listrik. Salah satu bentuk dari sumber energy listrik yang dapat diperbaharui dan ramah lingkungan adalah Pembangkit Listrik Tenaga Surya. Pembangkit Listrik Tenaga Surya dengan metode off grid merupakan pembangkit listrik yang berdiri sendiri dan bergantung pada sinar matahari seutuhnya. Analisa data dilakukan dari hasil pengamatan hasil pemasangan Pembangkit Listrik Tenaga surya , antara lain total beban puncak pada system kendali dan monitoring pemeliharaan tanaman media air adalah 69,38 Watt dan disuplai penuh 24 jam menggunakan PLTS dengan 1 buah PV 200WP, baterai berkapasitas 100Ah, dan inverter 1000Watt. Dalam Proses pengujian yang dilakukan pada tanggal 30 Juli – 2 Agustus 2022 pada pukul 07.00 s/d 16.00 menunjukkan bahwa PLTS mampu menyuplai beban dengan baik dan dapat menjadi sumber daya utama. Pembuatan PLTS ini berfungsi untuk menghemat penggunaan energy listrik dari PLN dan meningkatkan potensi sumber energy baru terbarukan yang ramah lingkungan.

Kata kunci : *PLTS Off-Grid, Daya Suplai PLTS*

Abstract

The need for the use of electrical energy in the present era is increasing. Therefore we need a source of electrical energy that is renewable and environmentally friendly with the aim of being able to preserve nature and be able to meet the need for electrical energy. One form of renewable and environmentally friendly source of electrical energy is a solar power plant. Solar Power Plant with the off grid method is a stand-alone power plant that completely depends on sunlight. Data analysis was carried out from observations of the results of the installation of a solar power plant, including the total peak load on the control system and monitoring of the maintenance of water media plants, which is 69.38 Watt and is fully supplied for 24 hours using a PLTS with 1 PV 200WP, a battery capacity of 100 Ah, and 1000 Watt inverters. In the testing process carried out on July 30 – August 2 2022 from 07.00 to 16.00 it shows that PLTS is able to supply the load properly and can become the main power source. Making this PLTS serves to save the use of electrical energy from PLN and increase the potential for new, renewable energy sources that are environmentally friendly.

Keywords : *PLTS Off-Grid, PLTS Supply Power*

1. Pendahuluan

Energi Listrik termasuk kebutuhan masyarakat yang sangat penting, karena energi listrik sudah menjadi suatu kebutuhan utama untuk menunjang aktivitas masyarakat. Tentu saja energi listrik sangat diperlukan untuk menunjang kebutuhan kegiatan penanaman dan pemeliharaan tanaman hidroponik di *Crispy Farm*. Sebagian besar peralatan-peralatan penanaman dan pemeliharaan yang digunakan di *Crispy Farm* menggunakan

energi listrik. Dan untuk penyediaan listrik di area penanaman dan pemeliharaan tanaman hidroponik di *Crispi Farm* sepenuhnya masih mengandalkan suplai daya dari PLN. Pada umumnya PLN masih menggunakan bahan bakar fosil yang dijadikan sumber bahan bakar utama untuk membangkitkan energi listrik. Seperti yang sudah diketahui bahwa bahan bakar fosil merupakan bahan bakar yang tidak dapat terbarukan, selain itu bahan bakar fosil juga dinilai masih menghasilkan polusi dan

tidak ramah lingkungan. Oleh karena itu, untuk mengatasi kekurangan bahan bakar serta mengurangi dampak dari Polusi tersebut, maka diperlukan pengembangan mengenai Energi Baru Terbarukan (EBT). Salah satu sumber Energi Baru Terbarukan (EBT) adalah pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS).

Penggunaan energi Listrik dari PLN dapat mengakibatkan ketidak mandirian suplai daya pada area tanaman hidroponik *Crispi Farm*. Karena ketika PLN sedang mengalami pemadaman akibat gangguan maupun kegiatan pernaikan, secara langsung suplai daya pada area tanaman hidroponik *Crispy Farm* otomatis akan terhenti. Atas dasar permasalahan ini, PLTS akan dijadikan sebagai sumber energi listrik utama yang bersifat mandiri dan independen untuk sistem kendali dan monitoring pemeliharaan tanaman media air. Yang menjadi proyek Tugas akhir. Pada sistem ini digunakan operasi secara *off grid* yang diharapkan PLTS ini bisa menjadi sumber energi listrik utama dan mandiri untuk sistem kendali dan monitoring pemeliharaan tanaman media air. Untuk menjaga supaya sumber energi listrik tetap dapat menyuplai ke sistem kendali dan monitoring pemeliharaan tanaman media air dalam kondisi cuaca yang tidak mendukung, maka akan ditambahkan baterai untuk menyimpan energi listrik yang dihasilkan oleh panel surya. Selain itu akan ditambahkan sistem *solar tracking* untuk memaksimalkan penangkapan sinar matahari oleh panel Surya.

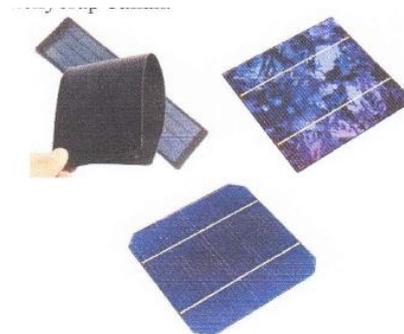
2. Landasan Teori

Terdapat beberapa komponen utama dalam perancangan system pembangkit listrik tenaga surya, yaitu sel surya, baterai, inverter, PLC, serta *system solar tracking* untuk memaksimalkan panel surya dalam menghasilkan energy listrik yang akan digunakan.

2.1. Sel Surya

Sebuah sel surya atau *photovoltaic cell (PV)* adalah perangkat yang mengubah

energi matahari menjadilistrik oleh efek Fotovoltaik. Fotofoltaik adalah bidang teknologi dan penelitian yang berkaitan dengan penerapan sel surya sebagai energi surya. Daya dari pembangkitan fotovoltaik disebabkan oleh radiasi yang memisahkan pembawa muatan positif dan negatif dalam menyerap bahan.



Gambar 1. Kristal Tunggal(kanan), *Poly kristaline* (Tengah), dan *Silikon Amorf*(Kiri)

Sel surya terbuat dari berbagai bahan dan struktur yang berbeda dalam rangka mengurangi biaya dan mencapai efisiensi maksimum. Ada berbagai jenis bahan solar xll, kristal tunggal, polikristal dan silikon amorf, senyawa bahan lapisan tipis dan semi konduktor menyerap lapisan lainnya, yang memberikan sel-sel yang sangat efisien untuk aplikasi khusus. Sel-sel silikon kristal yang paling populer, meskipun mahal. Sel surya tipe amorf silikon tipis yang lebih murah. Lapisan *silikon amorf* digunakan dengan baik hidrogen dan flourene dimasukkan dalam struktur. Sebuah sel surya merupakan unit dasar dari *PV* yang merupakan komponen utama dari alat pembangkit tenaga listrik surya.

Dari ketiga jenis sel surya tersebut, terdapat beberapa perbedaan kelebihan dan kekurangan untuk tiap masing-masing jenis. Berikut adalah perbedaan dari jenis sel surya yang ada.

Tabel 1. Kelebihan dan kekurangan jenis-jenis sel surya.

Pembanding	Kristal Tunggal	Polikristal	Silikon Amorf
Harga	Mahal	Murah	Sangat mahal
Efisiensi	19 %	18 %	8,5 %

Daya serap	Baik saat terik, kurang saat mendung	Saat terik dibawah kristal tunggal, baik saat mendung	Baik pada saat cuaca mendung ataupun terik
Ukuran untuk menghasilkan daya yang sama	Sedang	Besar	Sangat Besar
Umur Panel	15 – 50 Tahun	10 – 25 Tahun	15 – 30 Tahun

2.1.1. Faktor yang mempengaruhi Kinerja Panel Surya

Terdapat faktor-faktor yang mempengaruhi besarnya daya keluaran yang dihasilkan oleh panel surya . Nyoman Surya Gunawan et, al(2019), berpendapat bahwa 'faktor-faktor yang mempengaruhi produksi daya keluaran PLTS adalah radiasi matahari, suhu, shading (area bayang), dan sudut kemiringan dari panel surya."

a. Radiasi Matahari

Setiap tahunnya kurang lebih terdapat 3,9 x 10²⁴ Joule energi matahari yang sampai di permukaan bumi. Di Indonesia sendiri mempunyai potensi energi matahari yang cukup baik dengan energi harian rata-rata 4,5 – 4,8 kWh/m². Saat Kondisi siang hari yang cerah radiasi sinar matahari mampu mencapai 1000 W/m² Makkalu, et al.(2021) , menyatakan bahwa” Semakin besar iradiasi yang terpancar ke panel tersebut, maka semakin besar juga arus keluaran yang dihasilkan oleh panel surya.” Arus Keluaran terbesar yang dihasilkan oleh panel sebesar 0,16 A dengan iradiasi sebesar 357 W/m² . Suryana dan Ali , (2016), menyatakan bahwa” Tegangan listrik yang dihasilkan oleh panel surya tidak hanya bergantung pada iradiasi sinar matahari , tetapi juga pada kenaikan temperatur permukaan panel surya. Semakin tinggi temperatur permukaan panel surya, tegangan listrik

yang dihasilkan panel semakin berkurang.”

Berdasarkan dua penelitian tersebut dapat disimpulkan bahwa saat panel surya panas , arus dan tegangan akan berubah. Jika arus dan tegangan berubah maka daya keluaran yang dihasilkan oleh panel juga akan berubah. Terlebih lagi jika arus keluaran yang dihasilkan oleh panel meningkat, maka suhu panel juga akan meningkat karena modul surya tidak mampu sepenuhnya mengubah energi cahaya menjadi energi listrik. Sebagian energi listrik tersebut hilang dalam bentuk panas. Jadi, semakin besar energi matahari yang terpancar ke panel surya dan panel menghasilkan daya keluaran yang kecil, maka efisiensi panel surya tersebut juga menurun .Hal ini berarti jika panel surya terus menerus terkena sinar matahari yang terik akan menurunkan efisiensi panel tersebut.

b. Temperatur

PLTS membutuhkan panel surya untuk menyerap radiasi matahari untuk menghasilkan energi listrik. Panel surya merupakan sebuah elemen semikonduktor yang dapat mengubah energi surya menjadi energi listrik. Kinerja panel surya sangat dipengaruhi oleh suhu pada panel, semakin meningkat suhu pada panel maka tegangan keluaran yang dihasilkan akan menurun. Iqtimal, Zian. et al(2018), menyatakan bahwa ” Panel surya akan bekerja secara optimal pada suhu 25°C. Semakin besar suhu panel surya akan berdampak pada daya yang dihasilkan oleh panel surya” Panel surya akan semakin optimal ketika berhadapan langsung dengan matahari, dalam artian posisi permukaan panel surya berhadapan langsung dengan iradian yang datang atau tegak lurus menghadap matahari.

Suwardi dan Wahyono (2018), berpendapat ”Dengan menggunakan reflektor , maka sinar matahari akan lebih optimal , akan tetapi menggunakan

reflektor menyebabkan suhu yang dihasilkan panel surya meningkat ". Suhu memiliki peranan penting dalam panel surya, karena pada saat suhu pada panel surya tinggi, $\pm 30^{\circ}\text{C}$, efisiensi pada panel surya akan mengalami penurunan . Kenaikan suhu permukaan panel berdampak pada penelitian dari Abdi Guna(2021), yaitu "Pada panel surya jenis monocrystalline didapatkan rata-rata penurunan tegangan akibat kenaikan suhu permukaan panel adalah $0,44\text{V}/^{\circ}\text{C}$ dengan rata-rata suhu permukaan panel 45°C . Pada panel surya jenis CIGS didapatkan rata-rata penurunan tegangan akibat kenaikan suhu permukaan panel adalah $0,02\text{ V}/^{\circ}\text{C}$, dengan rata-rata suhu permukaan panel 65°C

c. Shading

Salah satu faktor yang mempengaruhi besarnya daya keluaran dari panel surya adalah besarnya intensitas radiasi sinar matahari. Selain itu , daya keluaran yang dihasilkan oleh panel surya juga bergantung dari efek bayangan. Pada implementasinya tidak semua iradiasi matahari masuk ke dalam panel surya, sehingga tercipta suatu keadaan yang disebut *partial shading* atau bayangan penuh. Efek bayangan merupakan kemungkinan terhalangnya panel surya akibat dari bayangan suatu benda sehingga mengakibatkan berkurangnya radiasi sinar matahari yang dapat diterima oleh sel-sel pada panel surya (Muhammad Iqbal Rois,et al:2015). Bayangan yang terjadi sering disebabkan oleh awan yang lewat, bangunan tinggi, menara-menara tinggi, pohon, kotoran burung, debu dan juga bayangan dari satu panel disisi yang lain.

Terjadinya *shading* dapat berpengaruh kepada daya keluaran yang dihasilkan oleh panel surya, sebagaimana penelitian yang dilakukan oleh Andhika Giyantara,et al(2020) , yaitu "Shading dapat mengurangi besaran keluaran dari panel surya sebesar 10 % hingga 14%" Untuk meningkatkan efisiensi daya

keluaran yang dapat dihasilkan oleh panel surya apabila terjadi shading dapat dilakukan dengan *diode bypass* terhubung secara paralel dengan polaritas yang berlawanan. Dalam operasi normal , setiap sel surya akan dibias maju dan oleh karena itu dioda bypass akan dibias mundur secara efektif akan menjadi rangkaian terbuka. Namun jika sel surya dibias mundur karena ketidaksesuaian arus hubung singkat antara beberapa sel yang terhubung seri , maka *dioda bypass* berjalan, sehingga memungkinkan arus dari sel surya yang baik mengalir di sirkit eksternal daripada membias maju masing-masing sel yang baik. Bias balik maksimum di sel yang buruk dikurangi menjadi sekitar satu penurunan dioda, sehingga membatasi arus dan mencegah pemanasan pada sel surya.

d. Sudut Kemiringan Panel Surya

Permasalahan utama dari sistem PLTS adalah jumlah daya yang dihasilkan sangat bergantung pada intensitas matahari yang diterima oleh panel surya dapat dimaksimalkan dengan cara memasang panel dengan sudut kemiringan atau slope dan sudut azimuth yang tepat. Pangestuningtyas D.L, et al(2013) menyatakan bahwa"Radiasi rata-rata matahari yang diterima oleh panel surya yang paling tinggi diperoleh saat panel yang diletakkan pada sudut azimuth 180 yaitu saat panel diletakkan menghadap ke arah utara" Besarnya sudut kemiringan yang paling tepat setiap bulannya bervariasi tergantung posisi matahari dan indeks kecerahan per bulan. Sudut kemiringan panel yang dapat menerima radiasi matahari paling tinggi pada saat musim hujan adalah 1 , sedangkan untuk musim kemarau adalah 24.

2.1.2. Menghitung Kebutuhan Sel Surya

Perhitungan Kebutuhan *photovoltaic* panel dapat menggunakan rumus berikut :

$$P = A \times E \times \eta \text{ (dalam Watt)}$$

$$A = \frac{P}{E \times \eta} \text{ (dalam m}^2\text{)}$$

Keterangan:

- W : Daya dibangkitkan(Watt)
- A : Luas permukaan PV (m²)
- E : Radiasi matahari (W/m²)
- η : Efisiensi modul surya (%)

2.1.3. Menghitung Jumlah Modul Sel Surya

Untuk menentukan jumlah modul surya yang akan digunakan, ditentukan dengan persamaan berikut :

$$\text{Jumlah PV Panel} = \frac{PWatt Peak}{Pmpp}$$

$$\text{Jumlah PV Panel} = \frac{W}{E \times A \times \eta}$$

Keterangan :

- P : Daya yang dibangkitkan (Wp)
- P : Daya maksimal panel surya yang digunakan
- E : Radiasi matahari (w/m²)
- A : Luas PV (m²)
- N : efisiensi PV (%)

2.2. Baterai

Baterai merupakan komponen penyimpanan energi (*energy Storage*) yang dihasilkan oleh modul *Photovoltaic* yang tidak langsung digunakan pada saat radiasi matahari rendah (seperti pada saat mendung) atau pada malam hari . Baterai disebut juga *accumulator* . Akumulator merupakan baterai yang mempunyai beraneka ragam. Menurut Rudolf Michael (1995:22). Akumulator dapat diartikan sebagai sel listrik yang berlangsung proses elektrokimia secara bolak-balik(*reversible*) dengan nilai efisiensi yang tinggi. Disini terjadi proses pengubahan enrgi kimia menjadi energi listrik, dan sebaliknya dengan cara regenerasi dari elektroda yang dipakai, yaitu dengan melewati arus lisyrik dengan arah yang berlawanan didalam sel-sel yang ada dalam akumulator.

Saat pengisian, energi listrik dari luar diubah menjadi energi didalam akumulator. Sedangkan pada saat pengosongan, energi kimia ini diubah menjadi energi listrik yang digunakan untuk mencatu energi pada peralatan elektronik. Dengan adanya proses tersebut, akumulator sering dikenal dengan elemen primer dan elemen sekunder. Untuk menentukan jumlah baterai yang akan digunakan ,ditentukan dengan persamaan berikut :

$$\text{Jumlah Baterai} = \frac{W_{Total}}{W_{Baterai}}$$

Keterangan :

W_{Total} = Total Energi (*Watt-Hours*)

$W_{Baterai}$ = Daya Baterai (*Watt-Hours*)

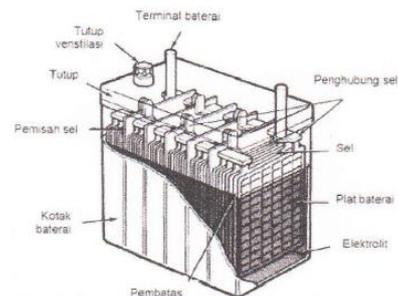
Persentase penggunaan baterai juga dapat dihitung apabila terdapat data awal dan data akhir dari kapasitas baterai yang digunakan. Presentasi penggunaan baterai dihitung menggunakan persamaan berikut :

$$\text{Persentase} = \frac{W_{Total}}{W_{Baterai}} \times 100\%$$

Keterangan :

W_{Total} = Total Energi (*Watt-Hours*)

$W_{Baterai}$ = Daya Baterai (*Watt-Hours*)



Gambar 2. Baterai Jenis VRLA

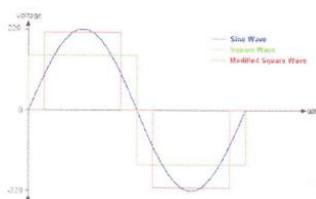
2.3. Inverter

Sebuah *photovoltaic (PV) array*, terlepas dari ukuran atau kecanggihannya, dapat menghasilkan hanya tenaga listrik arus searah (*DC*). Pengisian baterai, misalnya dengan mudah dilakukan dengan langsung menghubungkan mereka dengan modul surya inverter yang diperlukan dalam sistem yang memasok listrik ke arus

bolak-balik (AC) beban atau konsumsi PV listrik ke . Inverter merubah output DC dari array PV dan atau baterai untuk listrik AC standar yang sama dengan yang disediakan oleh utilitas (AC 220/380 Volt). Menurut efisiensi inverter pada saat pengoperasian adalah antara 60-95 % akan tetapi hampir rata-rata inverter yang dijual dipasaran memiliki efisiensi 95 % tergantung harganya.

Spesifikasi inverter harus sesuai dengan *Battery Charge Controller (BCC)* yang digunakan . Arus yang mengalir melewati inverter juga harus sesuai dengan arus yang melewati BCC. Pada pemilihan inverter , diupayakan kapasitas kerjanya mendekati kapasitas daya yang dilayani, hal ini agar efisiensi kerja inverter menjadi maksimal. Bentuk gelombang keluaran dari inverter idealnya berbentuk gelombang sinus tetapi nyatanya tidak demikian karena adanya harmonisa atau arus yang memiliki frekuensi kelipatan dan frekuensi fundamentalnya yang disebabkan oleh penggunaan beban non linier pada sistem tenaga yang menimbulkan distorsi pada bentuk gelombang sinus sehingga bentuk gelombang tidak lagi sinus.

Pure Sine Wave atau *true sine wave* merupakan gelombang inverter yang hampir menyerupai bahkan lebih baik dibandingkan dengan gelombang sinusoida sempurna pada jaringan listrik dalam hal ini PLN. Dengan total *Harmonik Distortion (THD)* 3 %. Sehingga cocok untuk semua alat elektronik. Oleh sebab itu inverter ini juga disebut "*clean power supply*". Teknologi yang digunakan inverter jenis ini umumnya disebut *Pulse Width Modulation (PWM)* yang dapat mengubah tegangan DC menjadi AC dengan bentuk gelombang hamper sama dengan gelombang sinusoida.



Gambar 3 Gelombang Keluaran Inverter.

Inverter gelombang sinus murni mensimulasikan secatra tepat daya AC yang disampaikan oleh stop kontak. Biasanya inverter gelombang sinus lebih mahal maka dimodifikasi generator gelombang sinus karena adanya penambahan sirkuit. Biaya ini , bagaimanapun dibuat karena kemampuannya untuk menyediakan listrik ke semua perangkat elektronik AC, membiarkan beban induktif berjalan lebih cepat dan lebih tenang, dan mengurangi kebisingan suara dan suara yang terdengar pada peralatan audio, lampu TV dan lampu neon.

2.4. PLC

PLC menurut *NEMA* adalah suatu jenbis piranti atau perangkat elektronik digital dengan memori yang bisa deprogram untuk menyimpan instruksi-instruksi yang menjalankan fungsi yang lebih spesifik seperti logika, sekuen ,timing,counting dan aritmatika guna mengontrol mesin sesuai apa yang diinginkan . Menurut Capiel (1982), PLC adalah system elektronik digital yang didesain untuk pemekaian pada industri. Memakai memori yang bisa deprogram untuk penyimpanan secara internal instruksi-instruksi yang mengimplementasikan fungsi-fungsi spesifik seperti *logic*, urutan ,pewaktuan, pencacahan dan aritmatik untuk mengontrol mesin atau proses melalui modul-modul I/O digital maupun analog. Sesuai namanya , ada tiga konsep utama dari *PLC yaitu Programmable, Logic dan Controller*. Berikut masing-masing penjelasannya.

a. Programmable

Kemampuan menyimpan program yang sudah dibuat ke dalam memori. Fungsinya bisa diubah-ubah sesuai keinginan.

b. Logic

Kemampuan memproses input secara aritmatika dan logic dengan melakukan operasi membandingkan ,menjumlahkan,

mengurangi, negasi, memgalikan, membagi, AND,OR dan lain sebagainya.

c. Controler

Kemampuan mengontrol dan mengatur proses agar menghasilkan output yang diinginkan.

2.4.1. Fungsi PLC

PLC memiliki fungsi umum maupun fungsi khusus, yaitu sebagai berikut :

1. Fungsi Umum

Beberapa kegunaan umum Logika Kontrol Terprogram yaitu :

- a. Monitoring Plant** : memantau atau memonitoring system dan tindakan yang diperlukan sesuai proses yang dikontrol.
- b. Kontrol Sekuensial** : proses input sinyal biner menjadi output yang dipakai untuk pemrosesan teknik secara berurutan. Peran PLC dalam hal ini adalah menjaga agar setiap step atau langkah selalu berada dalam urutan yang tepat alias tidak berubah-ubah.

2. Fungsi Khusus

Adapun kegunaan khusus dari logika Kontrol Terprogram yaitu member masukan CNC (*Computerized Numerical Control*) untuk pemrosesan lebih lanjut CNC biasanya digunakan dalam proses finishing, moulding, dan lain sebagainya.

2.4.2. Komponen PLC

Berikut berbagai bagian yang ada didalam PLC dan Fungsinya :

a. CPU

CPU atau *Central Prosesing Unit* menjadi otak dari seluruh system yang berjalan . Fungsinya mengatur berbagai perintah dan memprosesnya sebelum akhirnya hasil perintah tersebut ditampilkan dalam layar interface yaitu monitor.

b. Memory

Fungsinya adalah menyimpan berbagai data penting dalam bentuk Chip. Memory terbagi menjadi dua jenis yaitu *volatile memory* dan *non-volatile memory*, *volatile memory* adalah memory yang akan hilang jika sumber tegangan dilepas , sedangkan *non – volatile memory* adalah memori yang tidak mungkin hilang walaupun sumber tegangan dilepaskan.

c. Power Supply

Fungsi dari perangkat ini adalah mengontrol nilai tegangan agar selalu berada dalam nilai efisien, alias agar tegangan masuk bisa lebih besar dari tegangan semestinya. Jika tegangan sampai gagal, maka sangat berpengaruh keseluruhan bagian PLC.

d. Programmer

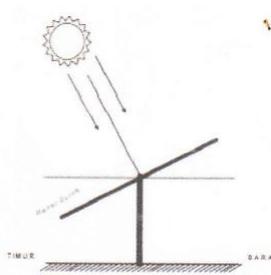
Dalam hal yang dimaksud programmer bukanlah sebuah profesi, melainkan alat atau perangkat yang digunakan untuk berkomunikasi yang berisi beberapa komponen yaitu *run*, *off*, monitor dan *programming*. Fungsi Utamanya yaitu menghidupkan, memonitor, dan mematikan. Ada beberapa bahasa pemrograman yang bisa digunakan antara lain yaitu : bahasa pemrograman Ladder diagram, bahasa pemrograman *Instruction List*, bahasa *Structured test*, bahasa pemrograman *Function Block Diagram*, serta pemrograman *Sequential Function Charts*. Jenis Pemrograman ini adalah jenis pemrograman paling inti.

e. Input dan Output

Dalam PLC, input/dimasikkan dan output/ keluaran memeiliki peranan yang sangat penting karena bisa membuat program bisa berjalan dengan lebih lancer. Ibarat sebuah pintu yang bisa dimasuki atau keluar pada waktu-waktu yang sudah ditentukan. Elemen ini menghubungkan dan saling berhubungan dengan system dunia luar.

2.5. Solar Tracking

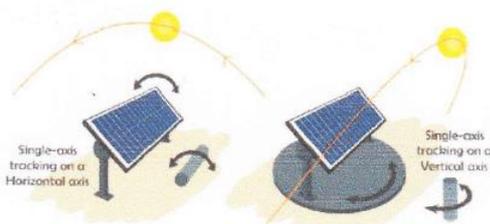
Solar tracking atau pelacak Matahari adalah perangkat yang mengarahkan panel *Photovoltaic (PV)* mengikuti arah matahari. Pelacakan dimaksudkan untuk meningkatkan jumlah energy yang dihasilkan dari jumlah energy yang dihasilkan sebelumnya pada pembangkit listrik tenaga surya. Dengan menggunakan solar tracker kekuatannya bisa meningkat berkisar antara 20 – 50 % bergantung pada jenis tracker yang digunakan dan juga lokasi dari PLTS.



Gambar 4 *Solar Tracking Single Axis*

Prinsip system kendali ini adalah menjejak pergerakan sinar matahari dari matahari terbit sampai tenggelam agar panel selalunya tegak lurus dengan matahari sehingga jumlah sinar matahari yang diperoleh maksimal dan menghasilkan daya maksimal juga. *Solar Tracking* memiliki dua jenis system pelacakan atau penggerak, yaitu *single Axis* dan *dual Axis*.

2.5.1. Single Axis Solar Tracking

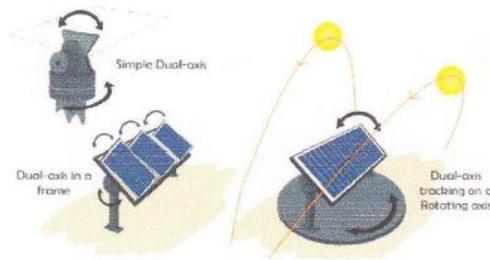


Gambar 5 *Solar Tracking Single Axis*

Solar tracker single axis adalah system pelacakan yang hanya dapat melacak arah cahaya matahari dengan satu

sumbu putaran, yaitu secara *vertical* (timur ke barat dan barat ke timur), *horizontal* (utara ke selatan dan selatan ke utara) atau miring (barat laut ke tenggara dan tenggara ke barat laut) . system panel surya *single axis tracker* terdiri dari dua *sensor* atau *limit switch* yang ditempatkan ada salah satu sisi panel dan satu motor sebagai penggerak panelnya.

2.5.2. Double Axis Solar Tracking



Gambar 6 *Solar Tracking Double Axis*

Panel surya *dual axis tracker* adalah system pelacakan yang dapat melacak arah cahaya matahari dan menggerakkan posisi panel surya dengan dua sumbu putaran, yaitu secara *vertical* dan *horizontal*. System panel surya *dual axis tracker* terdiri dari empat sensor cahaya yang diletakkan pada bagian timur, barat, selatan dan utara dan dua motor sebagai penggerak yang dipasang setiap sumbu.

3. Hasil dan Pembahasan

Fungsi modul *PV* pada PLTS adalah untuk menghasilkan muatan listrik yang akan ditransformasikan menjadi tegangan listrik bolak-balik. Pengujian pembangkitan yang telah dilakukan menunjukkan bahwa *photovoltaic cell* dan baterai mampu untuk mencatu daya panel control PLTS selama system bekerja dikarenakan daya beban yang kecil. Walaupun *photovoltaic cell* dan baterai sudah mampu untuk mencatu daya system PLTS untuk bekerja, ada *PLTS system off-grid* ini tetap diperlukan pengujian dengan beban system kendali dan monitoring tanaman media air, baik dengan *PV* dan baterai maupun baterai saja. Hal ini dimaksudkan untuk mengetahui berapa

lama PLTS dapat mencatu daya beban pada system kendali dan monitoring tanaman media air jika terjadi *blackout* dalam waktu yang lama. Oleh karena itu, dilakukan dua jenis pengujian yaitu :

- a. Sumber dari *photovoltaic cell* dan baterai
- b. Sumber dari baterai

Beban-beban yang diuji adalah saat PLTS hanya menyuplai system dan pada saat PLTS menyuplai beban motor nutrisi A dan B serta motor ember nutrisi jamur. Sistem monitoring akan diuji dalam waktu kerja selama 24 jam, sedangkan motor pompa akan diuji secara periodik , 15 menit untuk motor nutrisi dan 10 menit untuk motor nutrisi anti jamur. Tujuan dari pengujian pembebanan ini adalah untuk mendapatkan pola pembebanan yang paling efektif dalam memaksimalkan kinerja PLTS dalam memberi suplai daya ke system kendali dan monitoring tanaman media air selama 24 jam.

3.1 Sumber dari PV dan Baterai

Pada pengujian ini ,digunakan sumber dari baterai untuk mensuplai daya pada system dan *photovoltaic cell* berfungsi untuk menyuplai daya ke baterai selama bekerja.

Tabel 2 Pengujian PLTS Mode Otomatis dengan beban Sistem monitoring dan motor

Minggu, 31 Juli 2022							
Jam	Sudut	Photovoltage		Tegangan Output		Kapasitas Baterai (%)	Beban Load (Watt)
		Tegangan (V)	Daya (Watt)	Ac (V)	Dc (V)		
07.00	-45°	13.47	20.3	180	12.7	12.8V (89.5%)	8.00
07.30	-45°	13.33	24.6	184	13	13.3V (93%)	8.19
08.00	-45°	13.91	45.4	178	13.5	13.7 V (98.6%)	8.50
08.30	-45°	14.09	49.2	178	13.6	13.9 V (97.2%)	8.56
09.00	-45°	14.14	48.5	178	13.7	14.1 V (98.6%)	12.19
09.30	-45°	14.29	48.3	177	13.9	14.1 V (98.6%)	8.75
10.00	-30°	14.34	47.6	176	13.8	14.2 V (99%)	8.63

Minggu, 31 Juli 2022							
Jam	Sudut	Photovoltage		Tegangan Output		Kapasitas Baterai (%)	Beban Load (Watt)
		Tegangan (V)	Daya (Watt)	Ac (V)	Dc (V)		
10.30	-30°	14.37	45.6	176	14	14.2 V (99%)	8.82
11.00	-15°	14.56	46.3	176	14	14.3 V (100%)	8.82
11.30	-15°	14.76	43.3	176	14	14.2 V (99%)	9.24
12.00	0°	14.92	44.9	176	13.8	14.3 V (100%)	9.12
12.30	0°	15.12	42.7	176	14	14.3 V (100%)	8.82
12.00	15°	15.14	42.7	176	14.1	14.3 V (100%)	9.94
13.30	15°	15.48	42.1	176	13.8	14.3 V (100%)	7.54
14.00	30°	15.66	43.5	176	14.1	14.2 V (99%)	8.88
14.30	30°	15.52	41.1	176	14.1	14.2 V (99%)	9.02
15.00	45°	14.17	46.5	178	13.8	13.8 V (97.9%)	8.01
15.30	45°	13.97	48.2	179	13.6	13.8 V (96.5%)	9.65
16.00	45°	13.33	30.5	185	13.0	13.1 V (91.6%)	7.41

Tabel 3 Pengujian PLTS Mode Manual dengan Beban Sistem Monitoring

Senin, 01 Agustus 2022							
Jam	Sudut	Photovoltage		Tegangan Output		Kapasitas Baterai (%)	Beban Load (Watt)
		Tegangan (V)	Daya (Watt)	Ac (V)	Dc (V)		
07.00	0°	13.28	18.1	178	13	13.4 V (93.7%)	7.93
07.30	0°	13.45	18.3	179	13.1	13.4 V (93.7%)	8.12

Tabel 3.(lanjutan)

Senin, 01 Agustus 2022							
Jam	Sudut	Photovoltage		Tegangan Output		Kapasitas Baterai (%)	Beban Load (Watt)
		Tegangan (V)	Daya (Watt)	Ac (V)	Dc (V)		
08.00	0°	13.43	19.8	180	12.9	13.2 V (92.3%)	7.86
08.30	0°	13.57	48.7	182	13	13.4 V (93.7%)	8.06
09.00	0°	13.30	18.2	184	12.8	13.1 V (91.6%)	7.93
09.30	0°	13.65	51.8	182	13.2	13.5 V (94.4%)	8.31
10.00	0°	13.67	52.2	182	13.2	13.5 V (94.4%)	8.44
10.30	0°	13.69	49.6	182	13.2	13.5 V (94.4%)	8.18
11.00	0°	13.72	49.6	181	13.3	13.6 V (95.1%)	8.64
11.30	0°	13.75	48.6	181	13.2	13.6 V (95.1%)	8.18
12.00	0°	13.78	48.9	181	13.3	13.6 V (95.1%)	8.24
12.30	0°	13.81	48	181	13.5	13.7 V (95.8%)	8.5
13.00	0°	13.87	47.0	181	13.3	13.7 V (95.8%)	8.37
13.30	0°	13.88	46.3	180	13.4	13.7 V (95.8%)	8.3
14.00	0°	13.91	45.7	180	13.3	13.8 V (96.5%)	8.24
14.30	0°	13.93	40.9	181	13.4	13.8 V (96.5%)	8.3
15.00	0°	13.93	42.2	182	13.4	13.8 V (96.5%)	8.84
15.30	0°	13.81	35.7	182	13.3	13.7 V (95.8%)	8.37
16.00	0°	13.48	23.3	184	12.9	13.3 V (93%)	7.99

3.2. Sumber dari baterai

Pada pengujian ini hanya digunakan sumber dari baterai untuk menyuplai inverter . Baterai akan difungsikan sebagai catu daya untuk mengetahui pemakaian baterai untuk mencatu system kendali dan monitoring tanaman media air . Tabel 4.5 merupakan data hasil pengujian PLTS dengan sumber tegangan dari baterai untuk menjalankan system selama 24 jam.

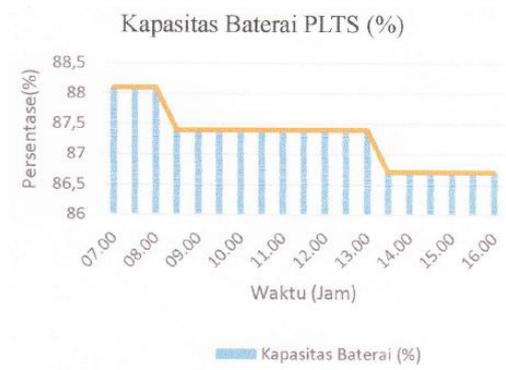
Tabel 4 Data pengujian Suplai Sistem Kendali dan Monitoring Tanaman Media Air.

Jam	Baterai		Tegangan Output		Beban
	Tegangan (Volt)	Persentase (%)	Ac (V)	Dc (V)	Load (Watt)
07.00	12.3	12.6 (88.1%)	190	12.3	7,50
07.30	12.3	12.6 (88.1%)	190	12.3	7,50
08.00	12.3	12.6 (88.1%)	190	12.3	7,50
08.30	12.3	12.5 (87.4%)	192	12.3	7,50
09.00	12.3	12.5 (87.4%)	193	12.3	15,01
09.30	12.3	12.5 (87.4%)	193	12.3	7,50
10.00	12.3	12.5 (87.4%)	193	12.3	7,50
10.30	12.3	12.5 (87.4%)	193	12.3	7,50
11.00	12.3	12.5 (87.4%)	193	12.3	7,50
11.30	12.2	12.5 (87.4%)	193	12.2	7,44
12.00	12.2	12.5 (87.4%)	193	12.2	7,44
12.30	12.2	12.5 (87.4%)	193	12.2	7,44
13.00	12.1	12.5 (87.4%)	193	12.1	7,74
13.30	12.1	12.4 (86.7%)	193	12.1	7,38
14.00	12.1	12.4 (86.7%)	193	12.1	7,38
14.30	12.1	12.4 (86.7%)	193	12.1	7,38
15.00	12.0	12.4 (86.7%)	193	12.0	7,32
15.30	11.9	12.4 (86.7%)	194	11.9	7,26

Jam	Baterai		Tegangan Output		Beban
	Tegangan (Volt)	Persentase (%)	Ac (V)	Dc (V)	Load (Watt)
16.00	12.1	12.4 (86.7%)	194	12.1	7,38

Pada percobaan PLTS dengan catu daya

baterai ini system kendali dan monitoring tanaman media air dapat bekerja selama 24 jam pengujian, tidak terjadi trip dikarenakan baterai selalu bisa mencatu daya yang dibutuhkan inverter untuk menyalakan system monitoring maupun saat motor bekerja. Dikarenakan pada pengujian ini baterai merupakan sumber catu daya tunggal Pada PLTS, maka kapasitas baterai akan berkurang sejalan dengan aktifnya beban –beban pada system. Pemakaian selama 9 jam dapat dilihat pada gambar berikut.



Gambar 7 Persentase Kapasitas Baterai PLTS Selama mencatu Beban.

Pada pengujian ini beban system monitoring media tanaman air bekerja secara terus menerus selama 24 jam dengan rata-rata pemakaian energy sebesar 0,66 W, kemudian pada pukul 09.00 dilakukan pengujian dengan menyalakan pompa pemberi nutrisi jamur dengan beban sebesar 1,22 A selama 10 menit. Data tersebut dengan cara pengukuran tegangan serta arus beban secara langsung ketika beban mulai bekerja. Analisis pemakaian baterai dapat dihitung dengan menggunakan rumus sebagai berikut :

$$\text{Persentase baterai} = \frac{W_{\text{Total}}}{W_{\text{Baterai}}} \times 100\%$$

Data :

1. Jenis Baterai
VRLA 100 AH; Daya baterai 1,2 kWh
2. Beban Panel Kontrol PLTS
 - a. Aktuator linear :

$$P = 20 \text{ Watt ; } t = 10 \text{ menit}$$

$$\text{Energi (W)} = P \times t$$

$$W = 20 \text{ Watt} \times 0,16 \text{ jam}$$

$$W = 3,2 \text{ Wh}$$

b. Kipas DC

$$P = 4,8 \text{ Watt ; } t = 9 \text{ jam}$$

$$\text{Energi (W)} = P \times t$$

$$W = 4,8 \text{ Watt} \times 9 \text{ jam}$$

$$W = 43,2 \text{ Wh}$$

c. Lampu Indikator

$$P = 1 \text{ Watt ; } t = 9 \text{ jam}$$

$$\text{Energi (W)} = P \times t$$

$$W = 1 \text{ Watt} \times 9 \text{ jam}$$

$$W = 9 \text{ Wh}$$

d. LCD Power meter

$$P = 5 \text{ Watt ; } t = 9 \text{ jam}$$

$$\text{Energi (W)} = P \times t$$

$$W = 5 \text{ Watt} \times 9 \text{ jam}$$

$$W = 45 \text{ Wh}$$

e. PLC

$$P = 0,24 \text{ Watt ; } t = 9 \text{ jam}$$

$$\text{Energi (W)} = P \times t$$

$$W = 0,24 \text{ Watt} \times 9 \text{ jam}$$

$$W = 2,16 \text{ Wh}$$

Energi Panel Kontrol :

$$W_{pk} = \Sigma (P \times t)$$

$$W_{pk} = 3,2 \text{ Wh} + 43,2 \text{ Wh} + 9 \text{ Wh} + 45 \text{ Wh} + 2,16 \text{ Wh}$$

$$W_{pk} = 102,56 \text{ Wh}$$

3. Beban Sistem Monitoring

$$\text{Tegangan DC (V)} = 13,6 \text{ V}$$

$$\text{Arus beban (I)} = 0,66 \text{ A}$$

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

$$\text{Daya beban (P)} = 13,6 \text{ V} \times 0,66 \text{ A}$$

$$= 8,976 \text{ W}$$

$$P = 8,976 \text{ Watt ; Waktu kerja (t)} = 9 \text{ jam}$$

$$\text{Energi yang dibutuhkan (Ws)} = P \times t$$

$$W_s = 80,78 \text{ Wh}$$

4. Beban Motor Pemberian Nutrisi anti jamur

$$\text{Tegangan DC (V)} = 13,6 \text{ V}$$

$$\text{Arus beban (I)} = 1,22 \text{ A}$$

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

$$\text{Daya Beban (P)} = 13,6 \times 1,22 = 16,59 \text{ W}$$

$$P = 16,59 \text{ W ; waktu kerja (t)} = 10 \text{ menit}$$

$$\text{Energi yang dibutuhkan (Wm)} = P \times t$$

$$W_m = 2,64 \text{ Wh}$$

Perhitungan :

$$W_{tot} = W_{pk} + W_s + W_m$$

$$= 102,56 + 80,78 + 2,64 \text{ Wh}$$

$$= 185,9 \text{ Wh}$$

Persentase Pemakaian Baterai :

$$\text{Persentase baterai} = \frac{W_{Total}}{W_{Baterai}} \times 100\%$$

$$= \frac{185,9 \text{ Wh}}{1,2 \text{ kWh}} \times 100\%$$

$$= 15,49 \%$$

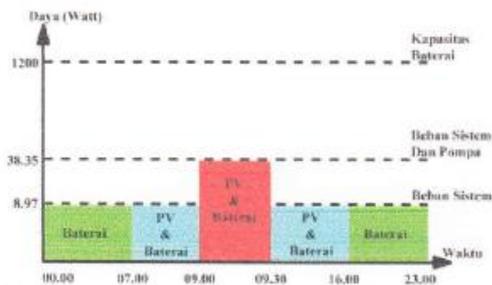
Dengan menggunakan rumus 2.20 didapatkan bahwa persentase pemakaian baterai untuk mencatu daya panel kontrol PLTS dan beban pada sistem monitoring adalah sebesar 15,49 %. Sedangkan pada pengujian PLTS menggunakan catu daya dari baterai , persentase baterai pada awal pengujian adalah 88,1 % dan pada akhir pengujian tersisa kapasitas baterai sebesar 86,7 % (data berdasarkan pengamatan persentase tegangan pada baterai sesuai dengan tabel Data Pengujian Baterai sebagai Suplai Sistem Kendali dan Monitoring Tanaman Media Air) artinya sistem hanya mengkonsumsi sekitar 1,4 % dari baterai.

3.3. Analisis Pembebanan

Sumber daya listrik *DC* untuk menyuplai beban pada sistem kendali dan monitoring tanaman media air merupakan prioritas dari *PV* dan baterai. Pada saat daya beban tidak lebih tinggi dari daya yang dihasilkan oleh *PV* maka daya beban akan sepenuhnya disuplai oleh *PV* dan jika ada kelebihan daya dari *PV* maka muatan listrik akan disimpan ke baterai. Pada kondisi yang seperti ini baterai akan menyuplai daya beban dan pada kondisi ini baterai menjadi fase discharging, sehingga persentase baterai akan menurun. Faktor waktu dioperasikannya beban pada sistem juga akan memengaruhi pola pembebanan karena PLTS sangat bergantung pada radiasi yang diterima *PV*. Maka diperlukan strategi dari segi rancangan sistem kendali

agar penggunaan daya PLTS dapat maksimal dengan mengedepankan keandalan kerja dari sistem kendali dan monitoring tanaman media air.

Berdasarkan pengujian PLTS menggunakan PV dan Baterai pada pembahasan sebelumnya, dapat diterapkan pola pembebanan jika PLTS digunakan selama 24 Jam . Gambar 8 merupakan skema sumber catu daya yang digunakan untuk menyuplai daya sistem kendali dan monitoring tanaman media air.



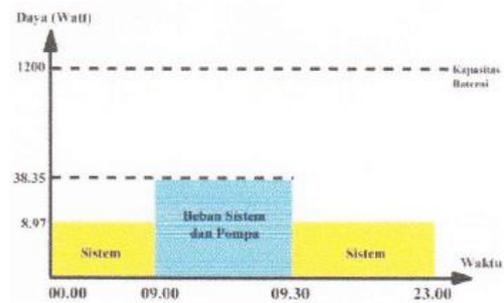
Gambar 8. Skema Sumber Catu Daya PLTS

Pada pukul 00.00 – 07.00 sistem akan menggunakan catu daya dari baterai dikarenakan panel surya atau PV belum menghasilkan daya yang cukup untuk menyuplai ke sistem. Tetapi pada pukul 07.00 – 16.00 panel surya menjadi catu daya utama ke sistem maupun saat pompa bekerja. Akan tetapi tidak menutup kemungkinan pemakaian catu daya menjadi PV dan baterai apabila daya yang dihasilkan PV tidak mencukupi dikarenakan cuaca berawan atau mendung . Pada pukul 16.00 – 23.00 sistem akan dicatu kembali oleh baterai karena PV sudah tidak menghasilkan daya lagi.

Baterai akan terpakai (*discharging*) pada pukul 00.00 – 07.00 dan jam 16.00 – 23.00 dan akan memasuki fase pengisian (*charging*) pada pukul 07.00 – 16.00 karena pada cuaca yang baik , daya yang dihasilkan oleh panel surya lebih besar dari daya yang dikonsumsi sistem, sehingga sisa daya yang dibangkitkan n tersebut akan disimpan pada baterai.

Gambar 9. Menggambarkan pola pembebanan harian yang dapat diterapkan

oleh rancangan kembali sistem agar pemakaian PLTS efektif.



Gambar 9 Pola Pembebanan Harian

Pada pukul 00.00 – 09.00 beban yang bekerja adalah sistem kontrol, dikarenakan daya yang dihasilkan oleh PV belum mencukupi untuk dapat menjalankan beban-beban pompa yang memiliki arus start yang tinggi . Begitu pula ketika diatas pukul 13.00 tidak disarankan untuk mengaktifkan beban pompa karena daya yang dihasilkan sudah turun. Walaupun pompa tidak akan trip karena daya di backup baterai , namun kapasitas baterai akan berkurang dan dapat menyebabkan kapasitas baterai mengalami decreament dari hari ke hari.

Beban-beban pompa akan ideal jika bekerja saat pukul 09.00 – 09.30 karena pada jam tersebut daya yang dihasilkan oleh PLTS pada puncaknya, sehingga diharapkan beban pompa tetap dapat disuplai langsung oleh PV.

Dari Pola penggunaan catu daya dan pola pembebanan harian dapat digunakan sebagai perencanaan sistem kendali dan monitoring tanaman media air . denhgan pola ini peran dari PLTS sebagai penyedia daya utama pada sistem penyediaan air bersih dapat dimaksimalkan . Terdapat 3 pola operasi pada PLTS *off-grid* yaitu :

- a. Siang hari pada saat energi *PLTS off-grid* lebih besar dari kebutuhan beban, besar energi yang dihasilkan oleh PLTS *off-grid* sangat bergantung pada intensitas penyinaran matahari yang diterima oleh modul surya dan effisiensinya . Intensitas matahari maksimum mencapai 1120,6 Watt/m², apabila efisiensi modul surya digunakan

untuk mengisi baterai melalui Solar Charge Controller terlebih dahulu, baru kemudian disalurkan ke beban melalui inverter.

- b. Siang hari saat energi *PLTS off-grid* lebih kecil dari kebutuhan beban . Kondisi ini terjadi apabila :
 - i. Saat kondisi berawan atau mendung
 - ii. Saat sore hari menjelang matahari terbenam *PLTS off-grid* akan menghasilkan energi listrik dari matahari namun tidak maksimal.
- c. Pada saat kondisi tersebut maka baterai akan berfungsi sebagai backup daya ke beban yang tidak mampu disuplai oleh *PLTS*.
- d. Pada Malam Hari saat sumber energi matahari tidak dapat dimanfaatkan lagi, oleh karena itu beban akan disuplai oleh Baterai

4. Penutup

4.1 Kesimpulan

- a. *PLTS* dan baterai mampu menjadi sumber daya yang mandiri dan independent untuk menyuplai energy listrik pada system Suplai Daya Sistem Kendali dan Monitoring Pemeliharaan Tanaman Media Air.
- b. Kinerja Pembangkit Listrik Tenaga Surya (*PLTS*) dalam menyuplai mdaya ke Sistem Kendali dan Monitoring Pemeliharaan Tanaman Media Air paling maksimal dengan kombinasi panel surya 200 Wp dan baterai 1,2 kWh dapat menghasilkan daya n52,2 Watt pada radiasi yang diterima sebesar 1096,8 W/m².
- c. Sumber catu daya utama *PLTS* adalah panel Surya, baterai sebagai catu daya backup apabila panel surya tidak mampu menghasilkan daya yang cukup untuk menyuplai system maupun beban –beban motor.
- d. Penggunaan baterai 1,2 kWh mampu menyuplai daya system kendali dan monitoring pemeliharaan tanaman media air selama lebih dari 24 jam tanpa suplai daya dari *photovoltaic* .

- e. Pola pembebanan yang sesuai adalah dengan menggunakan strategi pengaturan kendali beban berdasarkan waktu-waktu panel surya menghasilkan daya maksimal.

DAFTAR PUSTAKA

- Ariantika, Dika (2022). *Apa Pengaruh Iradiasi Terhadap Panel Surya? Apa Pengaruh Iradiasi Terhadap Panel surya ?* zonaebt.com
- Fazzafr.(2021) *Solar Tracker sebagai solusi Instalasi Panel Surya Pada Ruang Terbatas*. Solar Tracker sebagai solusi Instalasi Panel Surya pada Ruang Terbatas –FKTM Indonesia.
- Giyantara,A,Rizqullah,RB,& Wisyahyadi.(2020). *Pengaruh Partial Shading Terhadap Daya Keluaran pada Panel Surya .Snapan I*,Hal 279-283.
- Guna,A.(2020) *Analisis Pengaruh Suhu Terhadap Output Yang dihasilkan Panel Surya Monocrystalline Dan CIGS (Coper Indium Gallium Selenide)* (Skripsi Sarjana Universitas Gadjah Mada ,2022). Diakses dari <http://etd.repository.ugm.ac.id/penelitian/detail/207587>.
- Gunawan, N.S, Kumara, I.I.S.,& Rina,I.(2019). *Unjuk Kerja Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) 26,4 kWp Pada Sistem Smart Microgrid* UNUD.Journal SPEKTRUM,6(3),Hal 1-9.
- Kusumawati,D & Wiryanto,B.A.(2018). *Perancangan Bel Sekolah Otomatis Menggunakan Mikrokontroler AVR Atmega 328 Dan Real Time Clock DS3231*.JESIK(*Jurnal Elektronik Sistem Informasi dan Komputer*).4(1), Hal. 13 – 21.
- Makkulau,A.DKK. (2021) *Pengaruh Intensitas Matahari Terhadap Karakteristik Sel Surya Jenis Polycrystalline Menggunakan Regresi Linear*.KILAT,10(1), Hal.69-76.

- Pulungan ,A.B., Fajri, Q.,& Yelfianhar, I.(2021). *Peningkatan Daya Keluaran Panel Surya Menggunakan Single Axis Tracker Pada Daerah Khatulistiwa*.JTEV (Jurnal Teknik Elektro dan Vokasional),7(2), Hal.261-270.
- Rezkyansah,J.,Purba,L.P, & Putra, CA.(2016). *Perancangan Solar Tracker Berbasis Arduino Sebagai Penunjang Sistem Kerja Solar Cell Dalam Penyerapan Energi Matahari* . E-Jurnal UPN” Veteran” Jatim ,9,Hal.55—59.
- Rois,M.I.& Husnayain , F.(2014).*Analisis Pengaruh Bayangan Terhadap Kinerja Dua Panel Surya Type Monocrystalline*.(Skripsi Sarjana, Universitas Indonesia,2014) Diakses dari <https://lontar.ui.ac.id/detail?id=20368553>
- Tiyas,P.K.&Widyartono,M.(2020). *Pengaruh Efek Suhu Terhadap Kinerja Panel Surya* .Jurnal Teknik Elektro,9(1),Hal 871-876.
- Winardi ,B,Nugroho,A.,& Dolphina,E.(2019). *Perencanaan dan Analisis Ekonomi Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) Terpusat untuk Desa Mandiri*. Jurnal TEKNO(Civil Engineering, Electrical Engineering and Industrial Engineering),16(2).Hal.1-111.
- Winarno,I.& Wulandari,F.(2017). *Solar Tracking System Single Axis Pada Solar Sel Untuk Mengoptimalkan daya dengan metode Adaptive Neuro-Fuzzy Interference System (ANFIS)* Prosiding SEMNASTEK, Hal.1-10.