

RANCANG BANGUN PANEL SURYA OFF-GRID UNTUK CATU DAYA ALAT PENGUSIR HAMA TIKUS

Erfandy¹, Suhiro Wongso Susilo², Sujito³, Aripriharta^{4*}

^{1,2,3,4*}Departemen Teknik Elektro dan Informatika, Fakultas Teknik, Universitas Negeri Malang, Indonesia

Email : ¹Erfandy.1905315@students.um.ac.id, ²suhiro.wongso.2105366@students.um.ac.id,
³sujito.ft@um.ac.id, ⁴aripriharta.ft@um.ac.id

Correspondence E-mail : ^{*}aripriharta.ft@um.ac.id

Abstrak : Alat pengusir hama tikus berbasis gelombang ultrasonik adalah solusi efektif mengatasi masalah tikus di pertanian. Alat ini membutuhkan daya listrik sebesar 7 Watt selama 2,4 jam untuk lahan setengah hektar. Suplai daya berasal dari sistem Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) off-grid, sesuai Peraturan Presiden No. 22 tahun 2017 tentang Rencana Umum Energi Nasional yang menargetkan energi terbarukan 23% dari total energi fosil pada 2025. Penelitian ini bertujuan merancang dan membangun sistem PLTS off-grid sebagai sumber daya alat pengusir hama tikus. Metode penelitian melibatkan observasi, desain, dan eksperimen. Data observasi dari perangkat lunak PV Watts dan langsung menunjukkan rata-rata radiasi matahari harian 1044,57 dan 497,09 Watt selama 7 hari. Metode desain menentukan ukuran frame panel surya dengan tiang setinggi 4 meter dan kotak panel surya berukuran 40x20x50 cm. Metode eksperimen melibatkan pengujian alat yang dirancang. Hasil perhitungan menunjukkan panel surya 100 Wp efisien. Dalam pengujian selama 7 hari, panel surya menghasilkan rata-rata 39 Watt setiap harinya dan mengisi baterai 20 Ah dari kosong hingga penuh dalam 5 jam tergantung kondisi cuaca. Baterai mampu menyediakan daya untuk beban AC dan DC dengan daya 7 Watt. Beban AC bertahan selama 13 jam, sementara beban DC dapat di-backup selama 24 jam. Penggunaan sistem PLTS off-grid sebagai sumber daya alat pengusir hama tikus adalah alternatif yang ramah lingkungan dan efisien di pertanian.

Kata Kunci : EBT, Perancangan, Panel Surya off-grid.

Jurnal Energi Baru & Terbarukan, 2023, Vol. 4, No. 3, pp 224 – 245

Received : 27 Juli 2023

Accepted : 11 Oktober 2023

Published : 25 Oktober 2023



Copyright: © 2022 by the authors. [Jurnal Energi Baru dan Terbarukan](#) (p-ISSN: [2809-5456](#) and e-ISSN: [2722-6719](#)) published by Master Program of Energy, School of Postgraduate Studies. This article is an open access article distributed under the terms and condition of the [Creative Commons Attribution-ShareAlike 4.0 International License](#) (CC BY-SA 4.0).

Abstract : Ultrasonic rat repellent is an effective solution to the problem of rats on farms. It requires 7 watts of electricity for 2.4 hours for half an acre of land. The power supply comes from an off-grid solar power system (PLTS), in line with Presidential Decree No. 22 of 2017 on the National Energy General Plan, which aims to achieve 23% renewable energy from total fossil energy by 2025. This research aims to design and build an off-grid PLTS system as a power source for a rat repellent. The research methodology includes observation, design and experimentation. The observation data was obtained from PV Watts software and directly showed the average daily solar radiation of 1044.57 and 497.09 watts for 7 days. The design method determined the size of the solar panel frame with a 4 metre high pole and a 40x20x50 cm solar panel box. The experimental method involves testing the designed device. The calculation results show that the 100 Wp solar panel is efficient. In a 7-day test, the solar panel produced an average of 39 watts per day and charged a 20 Ah battery from empty to full in 5 hours, depending on the weather conditions. The battery is capable of supplying 7 watts of power to AC and DC loads. AC loads can be backed up for 13 hours, while DC loads can be backed up for 24 hours. Using an off-grid solar system to power the rat repellent is an environmentally friendly and efficient alternative in agriculture.

Keywords : EBT, Design, Solar Panel Off-grid.

1. Pendahuluan

Energi listrik saat ini maupun di masa depan sangat berperan penting bagi kehidupan manusia. Ditambah dengan seiring perkembangan zaman dan pertumbuhan penduduk dunia, mengakibatkan permintaan energi listrik semakin meningkat. Penggunaan sumber energi saat ini kebanyakan masih menggunakan sumber energi yang dapat habis dan tidak dapat diperbarui lagi contohnya seperti minyak bumi, batubara dan gas bumi, terbatasnya persediaan sumber energi tersebut, maka penggunaan energi alternatif lain sangat diperlukan seperti energi matahari, energi gelombang, energi pasang surut, energi angin dan energi terbarukan lainnya.

Tahun 2018, total produksi energi primer yang terdiri dari minyak bumi, gas bumi, batubara, dan energi terbarukan mencapai 411,6 MTOE (Million tonnes of oil equivalent). Sebesar 64% atau 261,4 MTOE dari total produksi tersebut diekspor terutama batubara dan LNG. Total konsumsi energi final (tanpa biomasa tradisional) tahun 2018 sekitar 114 MTOE terdiri dari sektor transportasi 40%, kemudian industri 36%, rumah tangga 16%, komersial dan sektor lainnya masing masing 6% dan 2%. Pemanfaatan EBT untuk pembangkit listrik pada tahun 2018 sebesar 8,8 GW atau 14% dari total kapasitas pembangkit listrik fosil dan non fosil yaitu sebesar 64,5 GW [1].

Minimnya penggunaan EBT (Energi Baru Terbarukan) pada indonesia disebabkan masih relatif tingginya harga produksi pembangkit berbasis EBT, maka dari itu persaingan dengan pembangkit fosil terutama batubara sangat sulit. Padahal di indonesia sendiri mempunyai potensi dan cadangan EBT yang besar, misalnya seperti panas matahari. Keberadaan negara indonesia di daerah katulistiwa mendapat penyinaran matahari selama 10- 12 jam dalam sehari dengan total intensitas penyinaran rata-rata 4,5 kWh per meter persegi perhari dan bersinar berkisar 2000 jam per tahun [2].

Energi matahari di indonesia memiliki potensi yang dapat dimanfaatkan sebagai pengganti energi dari fosil atau energi yang tidak dapat diperbarukan. Untuk memanfaatkan energi matahari tersebut diperlukanlah peralatan seperti panel surya (solar cell) untuk mengkonversikanya menjadi energi

listrik, seiring dengan perkembangan zaman penggunaan solar cell banyak diterapkan diberbagai bidang salah satu nya pada bidang pertanian. Indonesia adalah negara agraris dengan luas pertanian mencapai 8,9 juta hektar kususnya pada tanaman padi, petani padi memiliki banyak kendala yang dapat mempengaruhi hasil panen dari sisi kualitas maupun kuantitas. Untuk kualitas sendiri disebabkan oleh faktor human eror atau kesalahan dari petani sendiri misalnya dalam perawatan padi, kuantitas padi disebabkan oleh faktor nonteknis seperti contoh serangan hama tikus.

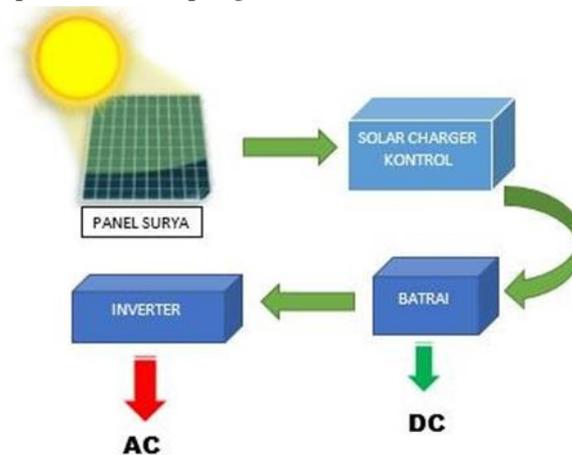
Berdasarkan permasalahan diatas, penulis merancang dan membuat penelitian "Rancang Bangun Panel Surya Off-Grid untuk Catu Daya Alat Pengusir Hama Tikus". Rancang bangun panel surya tersebut menggunakan solar cell 100 wp, batrai 12 V 20 Ah, inverter dc to ac, SCC (Solar Charger Controller) dengan beban 7 watt. Nanti nya diharapkan Panel surya off-grid tersebut dapat memasok daya alat pengusir hama tikus selama 24 jam agar alat pengusir hama tikus dapat bekerja dengan maksimal.

2. Tinjauan Pustaka

Berkembangnya ilmu pengetahuan dan teknologi yang sangat pesat pada saat ini menciptakan beberapa inovasi inovasi baru untuk mengatasi beberapa masalah salah satu nya pada bidang pertanian yang menerapkan alat pengusir hama tikus berbasis gelombang ultrasonik, hal tersebut memudahkan para petani dalam mengatasi permasalahan hama tikus. Disisi lain ada juga kendala dalam alat tersebut mengenai pasokan listrik. Penggunaan alat pengusir hama yang harus menyesuaikan lokasi persawahan menjadi kendala untuk mendapat sumber listrik terdekat, hal tersebut membuat penulis merancang panel surya off-grid sebagai catu daya alat pengusir hama tikus. Indonesia merupakan negara yang keberadaanya di daerah katulistiwa sehingga di indonesia mendapat penyinaran matahari selama 10-12 jam/hari [3].

2.1. Panel Surya Off-grid

Panel surya off-grid atau sistem pembangkit listrik tenaga surya terpusat yang hanya memanfaatkan radiasi dari sinar matahari dan tidak terhubung pada jaringan listrik lain seperti PLN. Dengan solar cell atau photovoltaic sebagai pengubah radiasi dari sinar matahari menjadi energi listrik, penggunaan panel surya off-grid pada alat pengusir hama tikus kali ini sangat tepat karena dapat menyesuaikan tempat pada peletakan alat pengusir hama tikus.



Gambar 1. Alur PLTS off-grid

2.2. Komponen PLTS Off-Grid

Pada perancangan PLTS off-grid kali ini membutuhkan alat dan bahan agar PLTS off-grid dapat dibuat sesuai yang di harapkan, untuk komponen yang dibutuhkan seperti:

2.2.1. Panel Surya

Panel surya atau juga disebut sel surya yaitu sebuah perangkat yang mengkonversi radiasi sinar matahari menjadi energi listrik, 1 sel panel surya hanya dapat menghasilkan tegangan sangat kecil, sekitar 0,6V tanpa beban atau 0,45V dengan beban (Purwoto, 2018). Proses untuk menghasilkan listrik pada sel surya dengan melalui efek fotovoltaic (Photovoltaic cell) atau biasa disingkat PV. Agar tegangan listrik yang didapatkan besar atau sesuai keinginan maka sel surya disusun secara seri, gabungan modul surya yang disusun 10-20 atau lebih tegangan dan arus yang dihasilkan akan tinggi serta cukup untuk penggunaan sehari hari.



Gambar 2. Panel Surya

Untuk mengetahui kebutuhan panel menggunakan rumus yang sesuai [4]. yang mana diperlukan langkah pertama yaitu mengetahui kebutuhan total daya harian terlebih dahulu (Wh) dan rata rata penyinaran matahari di wilayah yang akan di pasang panel surya, setelah mengetahui kebutuhan harian maka langkah selanjutnya menghitung daya puncak dan jumlah modul panel surya yang akan digunakan.

4.1. Menghitung Daya Puncak

$$kWp \text{ PLTS} = \frac{kWh}{G_{av}} \quad (1)$$

Dimana :

kWh = Total Kebutuhan Energi

G_{av} = Rata-rata intensitas cahaya matahari

4.2. Menghitung Jumlah Modul Surya

$$\text{Jumlah Modul} = \frac{kWp}{Wp/\text{modul}} \quad (2)$$

Dari kalkulasi perhitungan tersebut, langkah selanjutnya yaitu memilih jenis panel surya yang akan digunakan, berikut jenis jenis panel surya dan spesifikasinya.

a. Monokristal (*Mono-Crystalline*)

Panel surya jenis ini memiliki keefisienan paling efisien di banding dengan panel surya jenis lainnya. Dengan Penggunaan teknologi saat ini yang menghasilkan daya listrik persatuan luas yang paling tinggi, panel surya di rancang dengan keefisienan sampai dengan 15%. Monokristal khusus dirancang untuk keperluan konsumsi daya listrik besar pada tempat beriklim ekstrim, kelemahan jenis panel surya ini ketika ditempat teduh atau kekurangan cahaya matahari maka tidak akan berfungsi dengan baik dan efisiensinya juga akan turun secara drastis.

b. Polikristal (*Poly-Crystalline*)

Jenis panel surya dipabrikasi melalui proses pengecoran sehingga memiliki susunan kristal yang acak. Dibandingkan dengan monokristal panel jenis ini memerlukan luas permukaan yang lebih besar agar dapat menghasilkan daya listrik yang sama, keefisienan panel surya jenis ini memiliki efisiensi lebih rendah dibandingkan tipe monokristal dan memiliki harga yang lebih rendah [5].

c. *Thin Film Photovoltaic*

Panel surya ini memiliki dua lapisan, yaitu lapisan tipis mikro kristal silikon dan amorfus dengan efisiensi hingga 8,5%. Hal ini menyebabkan kebutuhan luas permukaan yang lebih besar per watt daya yang dihasilkan dibandingkan dengan panel surya monokristal dan polikristal. Namun, terdapat inovasi terbaru dalam bentuk Thin Film Triple Junction Photovoltaic yang menggunakan tiga lapisan dan mampu berfungsi dengan sangat efisien dalam kondisi cuaca yang sangat berawan. Panel ini dapat menghasilkan daya listrik hingga 45% lebih tinggi daripada panel surya jenis lain dengan daya yang setara.

2.2.2. Baterai

Baterai berfungsi sebagai penyimpan energi yang dihasilkan oleh panel surya, seperti yang diketahui pada umumnya ada 2 jenis baterai atau aki, aki primer dan sekunder. Aki primer tidak dapat dicas ulang sedangkan pada aki sekunder dapat diisi atau di cas kembali, seperti contoh pada baterai yang biasa digunakan pada PLTS (pembangkit listrik tenaga surya). Tanpa adanya penggunaan baterai pada sistem PLTS maka tidak ada pemasokan aliran energi listrik pada malam hari.



Gambar 3. Baterai

Penentuan kapasitas baterai bergantung pada sistem PLTS yang dibuat, besarnya kapasitas ada baterai mempertimbangkan banyaknya pengeluaran isi baterai yang digunakan. Untuk kapasitas baterai sendiri dinyatakan dalam Ah atau Ampere hours, apabila PLTS menggunakan baterai sebesar 50Ah dengan tegangan sebesar 12Volt. Maka kemampuan penyimpanan yang dimiliki baterai tersebut 50Ah x 12V atau 600Wh, untuk menentukan baterai yang digunakan sesuai dengan sistem panel surya dan

dapat bertahan lama maka memerlukan pemahaman dasar DoD (Depth of Discharge), jumlah siklus, efisiensi baterai, discharger/charger dan temperatur pada baterai.

a. Depth of Discharge (DoD)

Depth of discharge merupakan keluaran energi dari baterai. DoD diambil dengan persentase kapasitas baterai, seperti contoh DoD 80% dari 100% rating artinya pelepasan muatan pada baterai sebesar 80%. Saat kondisi seperti ini sisa muatan pada baterai sekitar 20% yang disebut SOC atau stated of charger, ada 2 kondisi DoD yaitu DoD maksimal dan DoD harian. Dimana DoD maksimal merupakan DoD tertinggi yang mampu dicapai baterai, ketika DoD maksimal dicapai maka SCC memutuskan baterai dengan cutt off beban, sedangkan DoD harian merupakan rata rata pencapaian batrai pada setiap siklus normalnya. Umumnya baterai yang digunakan dalam PLTS untuk DoD 25% sampai 30% sehingga umur batrai berkisaran 5 tahun [6].

b. Jumlah Siklus Baterai

Baterai memiliki siklus pengecesan dimana ada batasan penggunaan, satu kali siklus batrai ada 2 proses yaitu proses pengeluaran (discharge) dan proses pengisian (charger). Apabila batrai memiliki 1500 cycle, dan pengoprasian pada batrai 1 kali cycle /hari, maka dapat diketahui umur batrai (batas penggunaan) $1500/(1 \times 365 \text{ hari})$ sama dengan 4,1 tahun.

c. Efisiensi Baterai

Baterai memiliki rugi rugi di karenakan adanya internal resistance sehingga sebagian energi pada baterai berubah menjadi panas. 1 cycle pada baterai memiliki keefisienan sekitar 75%, 1 siklus efesiensi disebut round trip efficiency.

d. Discharge dan Charge Rate

Charger rate atau dischargre rate merupakan waktu yang dibutuhkan baterai dalam pengeluaran maupun mengisi muatan. Discharger rate pada baterai biasanya di simbolkan Cxx dan biasanya di standarkan dengan rate C20. Bisa dimisalkan batrai dengan kapasitas 1500Ah maka pada skala C20 arus maksimal keluaran batrai sebesar $1500\text{Ah}/20\text{jam} = 75\text{A}$.

e. Temperature Baterai

Idealnya baterai memiliki temperatur sekitar 20°C- 25°C, apabila pengoprasian batrai memiliki temperatur yang lebih tinggi dapat menjadi penyebab penuan umur batrai (aging). Setelah memahami langkah diatas, selanjutnya menentukan kebutuhan energi dari baterai dan menghitung jumlah baterai. Untuk perhitungannya mengacu pada (Winne, 2018). Data yang diperlukan yaitu Total seluruh kebutuhan harian atau (E_t) dan hari otonomi (D), biasanya hari otonomi baterai menggunakan waktu 3 hari, akan tetapi ada juga yang menggunakan 2 hari. Biasanya hal tersebut tergantung pada kecerahan daerah tersebut.

$$I_{Ah} = \frac{E_t}{V_s \times DoD} \quad (3)$$

$$I_{Ah} Total = \frac{I_{Ah} \times D}{DoD} \quad (4)$$

$$\Sigma Bat = \frac{I_{Ah} Total}{Ah} \quad (5)$$

Dimana :

Ah = Arus yang dibutuhkan (Amperehours)

I_{Ah} = Kebutuhan daya yang akan digunakan (Ampere)

DoD = Depth of Discharge

D = Hari otonom

E_t = Total energi harian

V_s = Tegangan pada baterai (Volt)
 ΣBat = Jumlah baterai yang akan digunakan

2.2.3. Inverter DC to AC

Penggunaan inverter dalam sistem PLTS off-grid berfungsi sebagai pengubah Arus DC dari batrai menjadi arus bolak balik (AC) untuk menyelaraskan daya pada beban. Penggunaan inverter sangat bermanfaat jika digunakan pada daerah yang kekurangan pasokan arus AC, dengan keluaran dari inverter listrik AC bertegangan 220 V atau 110 V maka kita akan dapat memasok daya perlatan rumah tangga. Untuk memilih inverter agar sesuai dengan daya yang dibutuhkan maka menggunakan persamaan rumus [4].

$$W_{max} + (25\% \times W_{max}) \quad (6)$$

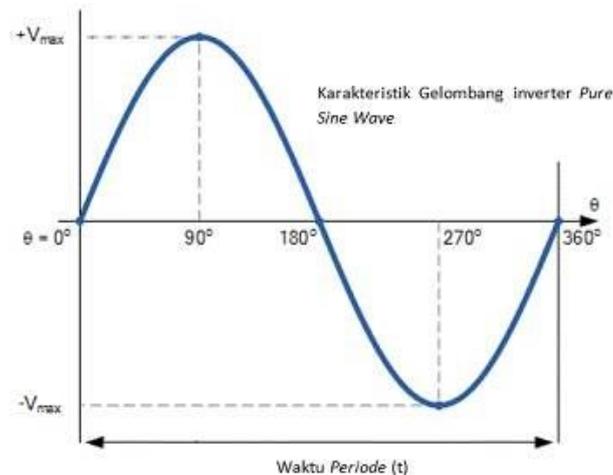
Dimana :

W_{max} = Daya puncak beban (Watt)

25% = Merupakan daya cadangan agar memenuhi kebutuhan starting alat.

Ada 3 macam jenis inverter yaitu square wave, modified sine wave, dan pure sine wave. Inverter yang digunakan pada penelitian ini berjenis pure sine wave.

Inverter jenis Pure Sine Wave disebut juga true sine wave yaitu inverter dengan gelombang yang hampir sama seperti gelombang sinusoida sempurna. THD (Total harmonic distrortion) yang dihasilkan < 3% sehingga penggunaan nya cocok untuk berbagai alat elektronika, inverter jenis ini juga disebut clean power supply (Purwoto, 2018). Penggunaan teknologi pulse width modulation (PWM) pada inverter jenis ini dapat mengubah arus tegangan DC ke AC dengan gelombang yang dihasilkan hampir mirip pada gelombang sinusoida.



Gambar 4. Karakteristik Gelombang Pure Sine Wafe

2.2.4. SCC (Solar Charge Control)

Solar Charge Controller merupakan komponen yang dibutuhkan dalam sistem PLTS dan berfungsi untuk mengatur arus listrik baik arus yang masuk dari Panel Surya maupun pada arus yang keluar/ digunakan pada beban dengan penerapan teknologi Pulse With Modulation (PWM). SCC bekerja untuk membatasi pengisian dari panel surya ke baterai agar batrai tetap terjaga, jadi pengaturan tegangan dan arus dari panel surya ke batrai di atur menggunakan SCC. Untuk batrai 12Volt pada umumnya memerlukan pengisian tegangan sekitar 14-14,8 Volt, sedangkan pada panel surya 12 Volt

mampu menghasilkan tegangan keluaran 16 – 21volt DC. Maka apabila tidak ada pengontrolan tegangan berlebih yang dihasilkan panel surya akan merusak baterai.



Gambar 5. Solar Charge Control

Untuk menentukan rating SCC yaitu dapat dengan menggunakan persamaan [7].

$$I_{scc} = I_{sc} \times N \times 125\% \quad (7)$$

Dimana :

- I_{scc} = Arus dari scc (Ampere)
- I_{sc} = Arus hubung singkat dari panel surya
- N = Jumlah penggunaan panel surya
- 125% = Nilai Kompensansi dalam sistem panel surya

2.2.5. Performance Ratio

Performance Ratio merupakan evaluasi efisiensi pembangkit listrik PV yang dinyatakan dalam bentuk persen. Perhitungan pada tahap ini dilakukan untuk mengetahui energi sebenarnya yang dihasilkan oleh PV. Jika nilai PR mendekati 100% maka semakin efisien energi yang dihasilkan pembangkit. Sebelum mendapatkan nilai performa ratio, terlebih dahulu mengetahui data irradiansi yang di esktrapolasi ke pembangkit dengan menggunakan persamaan berikut [9].

$$H_{eks} = H_{rata-rata} \times A_{PLTS} \quad (8)$$

Dimana :

- H_{eks} = Irradiansi yang diterima pembangkit (kWh)
- $H_{rata-rata}$ = Irradiansi rata-rata 1 tahun (kWh/m²)
- A_{PLTS} = Luas pembangkit (m²)

Setelah mendapatkan besar irradiansi yang diterima pembangkit, maka perkiraan daya yang dihasilkan sistem sesuai dengan efisiensi dihitung dengan menggunakan persamaan berikut.

$$P_{prediksi} = H_{eks} \times \eta_{pv} \quad (9)$$

Dimana :

- $P_{prediksi}$ = Daya output perkiraan (kWh)
- H_{eks} = Irradiansi rata-rata 1 tahun (kWh/m²)
- η_{pv} = Efisiensi PV (%)

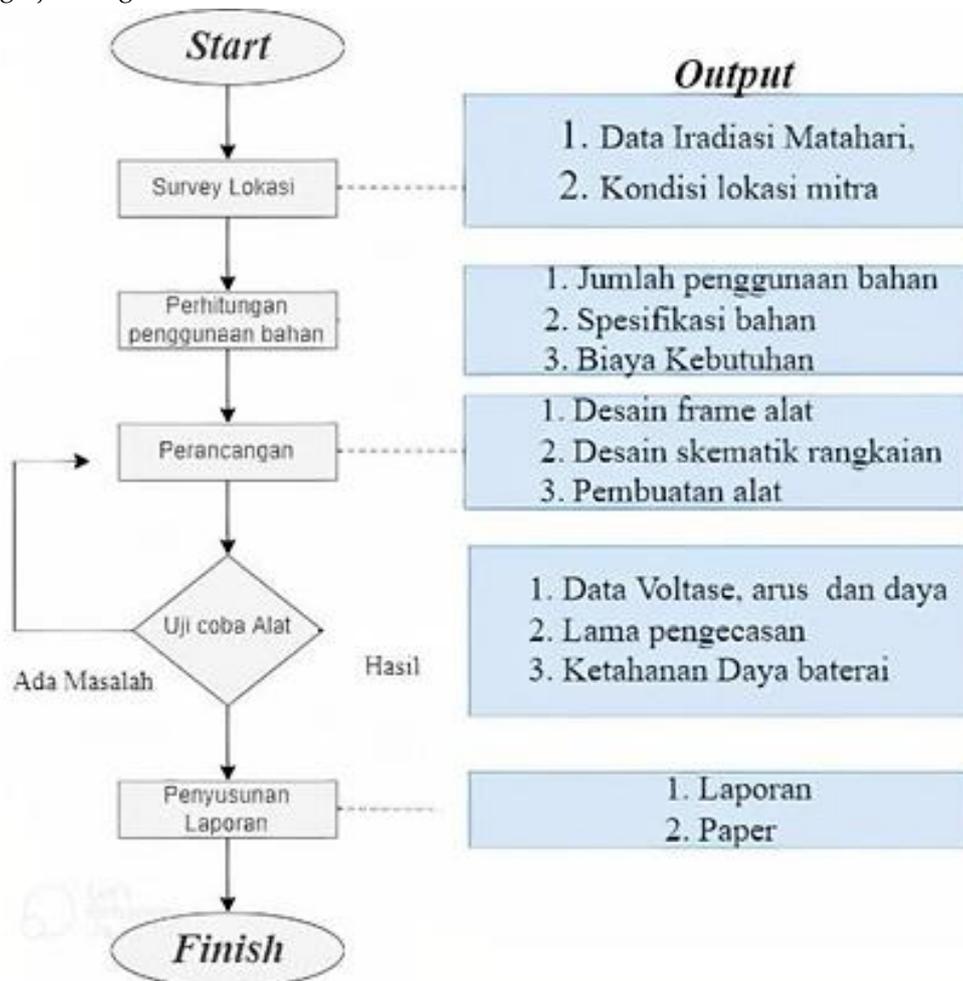
Performance ratio dapat dihitung menggunakan persamaan berikut.

$$PR = \frac{\text{Pembacaan Aktual (kWh)}}{\text{Daya Output Perkiraan (kWh)}} \quad (10)$$

3. Metode

3.1. Diagram Alir Perencanaan

Diagram alir atau flow chart merupakan diagram yang membentuk simbol grafis yang menunjukkan alur kerja, penggunaan algoritma disimbolkan bentuk kotak dan dihungkan menggunakan tanda panah. Tujuan dari diagram alir untuk menunjukkan secara singkat gambaran dalam pengerjaan tugas akhir ini.



Gambar 6. Diagram Alir Perencanaan

3.2. Alat dan Bahan

3.2.1. Alat

Pada perancangan ini alat yang dibutuhkan sebagai pendukung pembuatan sistem PLTS off-grid sebagai berikut.

Tabel 1.

Alat Pendukung

No	Nama Alat	Jumlah(buah)
1	Bor tangan	1
2	Multimeter	1
3	Obeng mini +	1
4	Obeng mini -	1
5	Skun	1
6	Tang	1
7	Gunting	1
8	Cutter	1
9	Tang potong	1
10	Sun Power	1

3.2.2. Bahan

Bahan yang dibutuhkan agar sistem PLTS dapat bekerja dengan maksimal sebagai berikut.

Tabel 2.

Bahan Perancangan

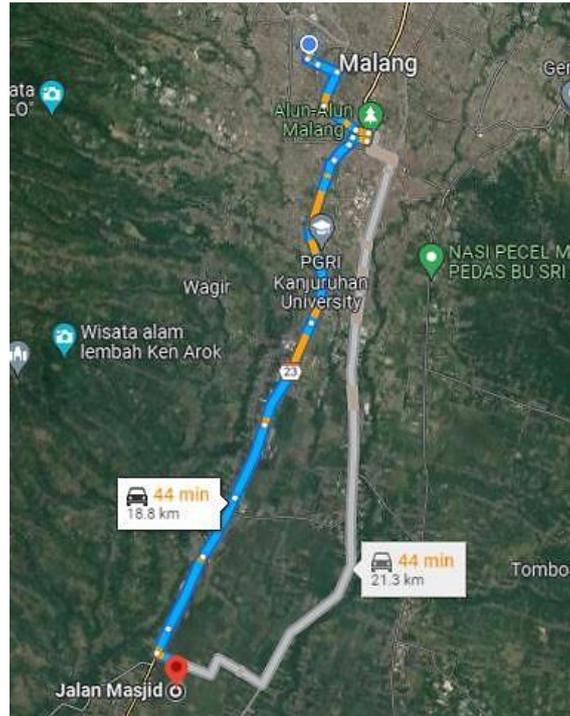
No	Komponen	Jumlah (buah)
1	Panel Surya100 Wp	1
2	SCC (Solar Charge Control)	1
3	Inverter 500Watt	1
4	Baterai 20 Ah	1
5	MCB DC 6 Ampere	2
6	Kabel PV 1x4mm ²	4 meter
7	Kabel NYM1,5 mm	4 meter
8	Breaket Panel	1
9	Blok terminal konekor	1
10	Stop kontak isi3	1

3.3. Analisa Kebutuhan

Dalam menganalisis kebutuhan, langkah langkah yang harus diketahui yaitu Evaluasi Potensi Matahari, dari evaluasi tersebut kita dapat mengetahui rata rata iradiasi harian matahari, Perhitungan kebutuhan energi harian, Perhitungan Daya Puncak dan Modul surya, Menghitung jumlah modul, Menghitung jumlah baterai, Menghitung kapasitas daya dan arus Solar Charger Control (SCC).

3.3.1. Evaluasi Potensi Matahari

Evaluasi potensi matahari dilakukan agar dapat mengetahui rata rata penyinaran di wilayah yang akan di pasang panel surya, dimana hasil evaluasi dapat dimasukan rumus untuk mengetahui efesiensi penggunaan jumlah panel surya. Untuk mengetahui iridiasi rata rata harian yaitu menggunakan software PVWatts, berikut data hasil dari software tersebut.



Gambar 7. Penentuan Titik Lokasi

PVWatts Calculator

RESULTS **152 kWh/Year***

Month	Solar Radiation (kWh/m ² /day)	AC Energy (kWh)
January	4.48	11
February	4.96	10
March	5.08	12
April	5.64	12
May	6.07	14
June	6.15	14
July	6.75	16
August	6.80	15
September	7.03	16
October	6.24	14
November	4.84	11
December	4.01	9
Annual	5.64	152

Location and Station Identification

Requested Location	VN1QHBHC Jalan Mergosingo, Jatirejoyoso Kec. Kepanjen, Kabupaten Malang, Jawa Timur 65163, Indonesia
Weather Data Source	Lat. Lng.: -8.11, 112.58 1.2 mi
Latitude	8.11° S
Longitude	112.58° E

PV System Specifications

DC System Size	0.1 kW
Module Type	Standard
Array Type	Fixed (open rack)
Array Tilt	20°
Array Azimuth	0°
System Losses	14.00%
Inverter Efficiency	96%
DC to AC Size Ratio	1.2

Performance Metrics

Capacity Factor	17.3%
-----------------	-------

Gambar 8. Total Irrasiance PV Watts

Dari simulasi menggunakan PVWatts didapatkan total keseluruhan iradiasi matahari selama 1 tahun sebesar 5,64kWh/m²/day.

3.3.2. Menghitung Kebutuhan Energi

Dalam Alat pengusir hama ini ada 10 titik alat yang akan di pasang di persawahan dengan luas sekitar 700 m². Dimana masing masing alat memiliki daya sebesar 7 watt, alat pengusir hama tikus tersebut nantinya bekerja secara acak dengan 1 alat menyala selama 2,4 jam. Jadi bisa dikatakan untuk total keseluruhan kebutuhan daya sebesar 168Wh.

3.3.3. Perhitungan Penggunaan Panel

Data yang diperlukan dalam perhitungan ini merupakan iridiasi rata-rata harian pada tempat yang akan dipasangkan panel surya, nilai rata-rata iradiasi harian selama satu tahun yang di dapatkan pada data PV Watts sebesar 5,64kWh/m².

Jadi dapat dihitung daya puncak PLTS dengan persamaan [1].

$$kWp PLTS = \frac{kWh}{G_{av}}$$
$$kWp PLTS = \frac{0,168 kWh}{5,64 kWh}$$
$$kWp PLTS = 29,7 Wp$$

Dari hasil tersebut masih perlu adanya penambahan sebesar 15% - 25% sebagai rugi sistem. Jadi daya puncak menjadi sekitar 37,1Wp setelah penambahan rugi-rugi sistem atau dapat menggunakan panel surya yang ada dipasaran 50Wp. Dikarenakan kedepannya akan dilakukan pengembangan untuk penggunaan PLTS maka untuk uji coba kali ini menggunakan solar panel sebesar 100Wp.

3.3.4. Perhitungan Jumlah Baterai

Pada perancangan kali ini diketahui daya pada pengusir hama sebesar 7 watt, jadi untuk energi total selama satu hari sebesar 168Watt dan pemakain baterai pada perancangan kali ini menggunakan baterai sebesar 12Volt 20Ah. Maka dari data yang diketahui tersebut maka dapat di masukan dalam rumus persamaan [3], [4], dan [5] agar dapat diketahui kebutuhan baterai yang akan digunakan.

$$I_{Ah} = \frac{E_t}{V_s \times DoD}$$
$$I_{Ah} = \frac{168 W}{12V \times 0,8} = 17,5 Ah$$

Dari perhitungan tersebut di didapatkan kebutuhan daya baterai selama 1 hari sebesar 17,5 Ah setelah penambahan DoD atau bisa menggunakan 20 Ah yang ada dipasaran. Agar baterai dapat menyediakan daya pada alat pengusir hama tikus secara maksimal maka perlu ada nya perhitungan dengan menggunakan hari otonomi. Untuk hari otonomi biasanya dilakukan 3 hari penggunaan baterai, maka untuk mendapat kan hasil tersebut hasil dari perhitungan diatas dimasukan ke dalam persamaan.

$$I_{Ah} Total = \frac{I_{Ah} \times D}{DoD}$$
$$I_{Ah} Total = \frac{14 Ah \times 5}{0,8} = 52,5 Ah$$
$$\sum Bat = \frac{I_{Ah} Total}{Ah}$$
$$\sum Bat = \frac{52,5 Ah}{20 Ah} = 2,6$$

Dari hasil perhitungan di atas dihasilkan kebutuhan baterai sebesar 17,5 Ah untuk 1 hari penggunaan dan 52,5Ah untuk 3 hari penggunaan (hari otonomi).

3.3.5. Menghitung Kebutuhan Inverter

Untuk mengetahui kebutuhan inverter yang akan di gunakan maka perlu diketahui nilai daya puncak beban, Pada perancangan kali ini daya puncak beban sebesar 7Watt, maka dapat di masukan dalam persamaan.

$$W_{max} + (25\% \times W_{max})$$

$$7W + (25\% \times 7W) = 8,75 W$$

Karena hasil yang di dapatkan rendah sebesar 8,75Watt, maka daya inverter yang dapat digunakan untuk instalasi ini kurang lebih sebesar 100Watt. Dikarenakan pada proyek kali ini nantinya akan dilakukan pengembangan mengenai penggunaan energi yang dihasilkan PLTS maka untuk penggunaan inverter yang dipilih sebesar 500 watt.

3.3.6. Menghitung Arus Solar Charger Control (SCC)

Penentuan Input dan arus SCC ditentukan dengan Daya Puncak Modul Surya (Wp) dan untuk output daya dan arus SCC ditentukan dengan tegangan kerja sistem batrai (Vdc).Di karenakan pada proyek kali ini menggunakan panel surya sebesar 100Wp dengan sistem kerja 12Vdc maka dapat di hitung dengan persamaan.

$$I_{sc} = I_{sc} \times N \times 125\%$$

$$I_{sc} = 6,05 \times 1 \times 125\% = 7,5 A$$

Maka SCC yang digunakan sebesar 7,5Ampere atau dapat menggunakan yang beredar di pasaran sebesar 10 ampere.

3.3.7. Spesifikasi Bahan

Setelah dilakukannya perhitungan sesuai dengan kebutuhan, maka langkah selanjutnya yaitu menyiapkan bahan-bahan yang telah ditentukan dengan perhitungan tersebut. Untuk daftar bahan dan spesifikasinya seperti pada tabel 3 di bawah ini.

Tabel 3.

Spesifikasi Bahan

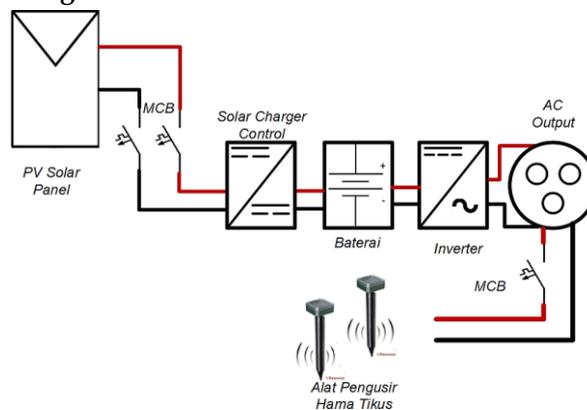
No	Nama Bahan	Spesifikasi	Jumlah
1	Panel Surya	<ul style="list-style-type: none"> • Merk :SUN ASIA • Nilai Maksimum Daya :100WP (Watt Peak) • Model : Monocrystalline • Isc : 6,05A • Vmp :17,8V 	1
2	Baterai	<ul style="list-style-type: none"> • Merk:Maxotrom • Type: 12 V 20 Ah • Model: NP 20-12 • Terminal: L • Volt: 12 • Ah: 20 	1
3	SCC	<ul style="list-style-type: none"> • Max. charge current: 10A • Max. discharge current: 10A • Max. solar panel input voltage: 50V • Rated voltage: 12V/24V • Stop charge voltage: 14.7V/29.4 V • Low voltage recovery: 12.2V/24.4 V • Low voltage protection: 10.5V/21.0 V • USB output voltage/cur rent: 5V 2A • temperatur e: -20 C~60 C 	1

No	Nama Bahan	Spesifikasi	Jumlah
4	Inverter	<ul style="list-style-type: none"> • Daya Maksimu m: 500 Watt • DC to AC Power Inverter • Output Volt: AC 220 • Output Frekuensi : 50Hz+/- 2Hz • Low Battery Alarm : 10-15 V(Max) • Low battery Shutdown • : 10.4 - 11.2 	1

3.4 Perancangan Alat

Dalam perancangan alat yang dilakukan pada pembuatan sistem PLTS off-grid, yang pertama yaitu pembuatan desain skematik rangkaian, pembuatan desain frame dan yang terakhir pembuatan alat.

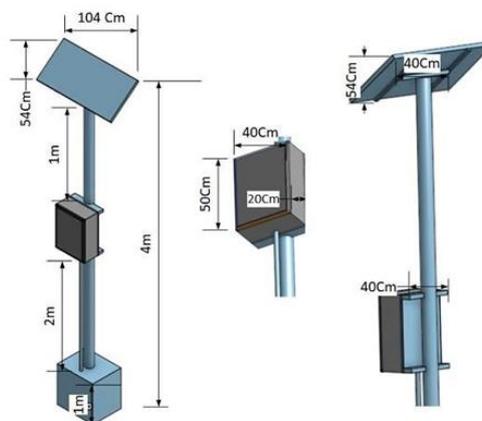
3.4.1. Desain Skematik Rangkaian



Gambar 9. Desain Skematik Rangkaian

Sistem kerja dari gambar skematik diatas menjelaskan daya yang di hasil kan oleh PV akan dialirkan menuju SCC untuk mengatur pengisian daya baterai. Setelah diatur oleh SCC kemudian dialirkan menuju baterai untuk penyimpanan daya. SCC juga terdapat keluaran tegangan berupa arus DC, apabila alat yang di gunakan bertegangan DC maka bisa langsung dialirkan pada beban tanpa inverter. Sebaliknya apabila tegangan yang di perlukan berupa beban AC maka perlu adanya inverter. Untuk sistem kerja pada inverter yaitu mengubah arus DC dari baterai menjadi arus keluaran AC.

3.4.2. Desain Frame Panel



Gambar 10. Desain Frame Panel

Desain frame ini menyesuaikan kebutuhan dan pertimbangan yang telah dibuat, dengan tinggi tiang mulai dari atas sampai bawah memiliki ketinggian 4 meter, penggunaan panjang 1 meter untuk sistem pondasi yang ditanamkan pada tanah, kemudian jarak antara panel box dari permukaan tanah yaitu 2 meter, dengan penggunaan ukuran panel box 40 cm x 20 cm x 50 cm, dan frame untuk panel suryanya sendiri memiliki ketinggian 1 meter dari panel box, dengan lebar penompang panel 40 cm x 54 cm.

4. Metode Penelitian

4.1. Hasil Analisis

Perancangan panel surya off-grid ini dimanfaatkan sebagai penyedia daya untuk alat pengusir hama tikus yang berupa suara ultrasonic sebagai keluaran dari alat tersebut dengan daya sebesar 7 watt. Panel surya off-grid ini agar mampu menyediakan daya selama 24 jam maka perlu ada nya perhitungan yang detail dan juga perlu adanya survei ke lokasi, berikut hasil analisis dan perhitungan yang didapatkan pada penelitian.

4.1.1. Hasil Iradasi

Penelitian ini memanfaatkan energi dari pancaran iradiasi matahari, maka sebelum melakukan perancangan peneliti melakukan evaluasi atau survei ke lapangan untuk mengetahui iradiasi matahari ditempat tersebut. Pengambilan data di lakukan selama 1 minggu, berikut hasil dari pengambilan data iradiasi matahari menggunakan Solar Power.

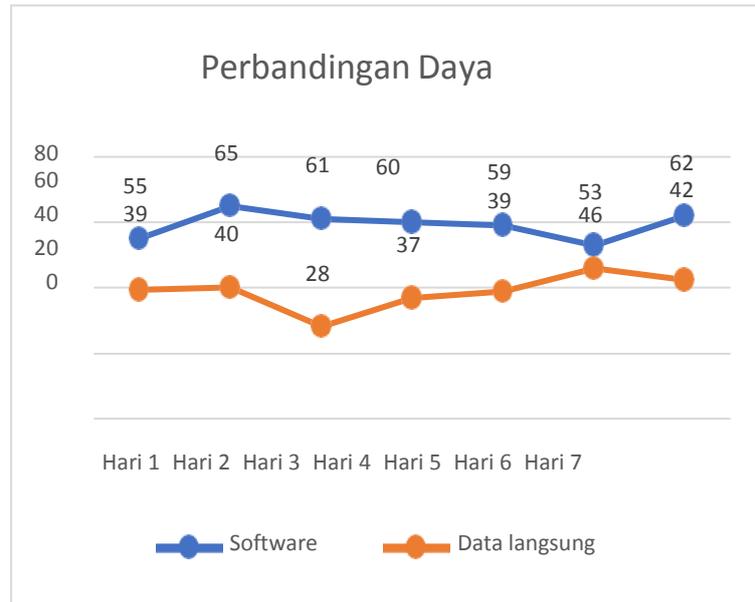
Tabel 4.
 Data Aktual Irradiance

Hari	Jam	Intensitas Cahaya (Lux)	Suhu (°C)	Irradiance (W/m ²)	Hari	Jam	Intensitas Cahaya (Lux)	Suhu (°C)	Irradiance (W/m ²)
1	08.00	1233 x 100	24.9°C	957,4	4	08.00	1839 x 10	27.4°C	1455,6
	09.00	1332 x 100	27.4°C	1155,9		09.00	1673 x 100	29.0°C	1238,8
	10.00	1538 x 100	33.4°C	1186,6		10.00	1749 x 100	33.4°C	1298,6
	11.00	1555 x 100	39.2°C	1212,3		11.00	1317 x 100	29.2°C	1462,5
	12.00	1608 x 100	38.8°C	1249,1		12.00	1981 x 100	30.8°C	1560,1
	13.00	4495 x 10	29.4°C	559,9		13.00	4979 x 10	29.4°C	970,9
	14.00	4311 x 10	28.5°C	824,6		14.00	3930 x 10	29.0°C	668,3
	15.00	4228 x 10	28.4°C	611,5		15.00	3857 x 10	29.0°C	596,6
2	08.00	2351 x 10	27,0°C	387,6	5	08.00	2245 x 10	27°C	467,7
	09.00	6451 x 10	27,9°C	804,6		09.00	3431 x10	28°C	754,7

Hari	Jam	Intensitas Cahaya (Lux)	Suhu (°C)	Irradiance (W/m ²)	Hari	Jam	Intensitas Cahaya (Lux)	Suhu(°C)	Irradiance (W/m ²)
2	10.00	2201 x 100	28,7°C	1687,6	5	10.00	3964 x 10	28,7°C	573,6
	11.00	2950 x 100	29,2°C	1713,8		11.00	1529 x 100	29,2°C	1458,2
	12.00	1524 x 100	28,3°C	1496,8		12.00	1773 x 100	30,3°C	1485,8
	13.00	7368 x 10	28,4°C	657,9		13.00	4710 x 10	29,4°C	1073,9
	14.00	6357 x 10	28,1°C	575,3		14.00	4530 x 10	30,0°C	1024,6
3	15.00	5729 x 10	28,0°C	454,3	15.00	4537 x 10	29,0°C	937,8	
	08.00	1398 x 100	28,4°C	1076,5	6	08.00	3527 x 10	26,9°C	358,5
	09.00	1532 x 100	29,4°C	1156,9		09.00	8958 x 10	27,6°C	851,6
	10.00	1749 x 100	33,4°C	1298,6		10.00	7540 x 10	28,9°C	780,6
	11.00	1817 x 100	29,2°C	1312,3		11.00	1529 x 100	29,2°C	1458,2
	12.00	1981 x 100	30,8°C	1549,1		12.00	1773 x 100	30,3°C	1575,6
	13.00	3978 x 10	29,4°C	1069,7		13.00	1470 x 100	29,4°C	1273,9
14.00	3430 x 10	28,5°C	623,5	14.00		1430 x 100	29,0°C	1223	
7	15.00	3349 x 10	28,0°C	543,7	15.00	9537 x 10	29,0°C	1037,8	
	08.00	1457 x 100	28,0°C	1224,5	7	08.00	1457 x 100	28,0°C	1224,5
	09.00	1482 x 100	30,0°C	1290,6		09.00	1482 x 100	30,0°C	1290,6
	10.00	1398 x 100	29,0°C	1203,6		10.00	1398 x 100	29,0°C	1203,6
	11.00	1479 x 100	30,0°C	1328,2		11.00	1479 x 100	30,0°C	1328,2
	12.00	1543 x 100	31,2°C	1450,5		12.00	1543 x 100	31,2°C	1450,5
	13.00	1460 x 100	30,0°C	1048,9		13.00	1460 x 100	30,0°C	1048,9
	14.00	9584 x 10	28,0°C	667,6		14.00	9584 x 10	28,0°C	667,6
15.00	8547 x 10	27,0°C	529,8	15.00		8547 x 10	27,0°C	529,8	

Dari hasil analisis yang dilakukan selama 1 minggu mendapatkan rata-rata irradiansi sekitar 1044,57 W/m²/day dan dapat di tarik kesimpulan bawasanya diwilayah tersebut rata-rata pada jam 1 siang terjadi penurunan pada iradiansi matahari dengan total iradiansi terendah yang pernah tercapai di jam tersebut sebesar 559,9 W/m² dengan intensitas cahaya 44.950 Lux dan puncak iradiansi tertinggi rata-rata terjadi pada pukul 11.00 -12.00 siang.

4.1.2. Perbandingan Daya Pengukuran



Gambar 11. Perbandingan Data

Perbandingan ini digunakan agar mengetahui selisih dari data Software PV Watts dan data aktual, dari hasil perbandingan diatas dapat diketahui bahwa rata-rata daya ouput panel surya secara langsung sebesar 39Watt dan data dari software sebesar 59Watt. Perbandingan yang sangat jauh ini disebabkan pada saat waktu pengukuran langsung keadaan cuaca pada jam 13.00 sampai jam 15.00 diwilayah tersebut mendung dan disertai gerimis, sehingga Arus yang di hasilkan menurun drastis. Terjadinya penurunan drastis dikarenakan penggunaan panel surya yang berjenis Monocrystalline yang mana panel surya jenis memiliki sensitifitas sangat tinggi. Berikut perhitungan error menggunakan rumus root mean square error (RMSE).

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{t=1}^n (A_t - F_t)^2}{n}} \quad (11)$$

Dimana :

A_t : Nilai pengukuran langsung (aktual)

F_t : Nilai hasil peramalan software

n : Banyaknya data

\sum : Jumlah keseluruhan nilai

Sesuai dengan persamaan diatas, nilai error yang dihasilkan dari dc output dapat diketahui dengan cara memasukkan data pada Gambar 11 kedalam persamaan, sehingga didapatkan hasil sebagai berikut:

$$RMSE = \sqrt{\frac{(39-55)^2 + (40-65)^2 + \dots + (42-62)^2}{7}}$$

$$RMSE = \sqrt{\frac{3317}{7}} = \mathbf{21,76}$$

4.1.3. Performance Ratio

Berdasarkan hasil pengukuran, pengujian dan analisis data pada software PVwatts didapatkan bahwa.

Tabel 5.

Parameter Perhitungan Performance Ratio

Periode	Irradiasi rata-rata(kWh/m ²)	Luas Pembangkit (m ²)	Efisiensi PV (%)	Energi aktual (kWh)
PLTS1 Tahun	170	0,594	16,93%	16,148

Berdasarkan Tabel 5 di atas, dapat dihitung nilai irradiasi yang di ekstrapolasi ke pembangkit dengan persamaan berikut.

$$H_{eks} = H_{rata-rata} \times A_{PLTS}$$
$$H_{eks} = 170 \frac{kWh}{m^2} \times 0,594m^2 = 100,98 kWh$$

Hasil nilai yang didapatkan diatas maka daya yang seharusnya di bangkitkan dapat diketahui dengan persamaan berikut.

$$PR = \frac{Pembacaan Aktual (kWh)}{Daya Output Perkiraan (kWh)}$$
$$PR = \frac{16,148}{17,095} = 0,94$$

4.2. Hasil Perancangan Alat

Perancangan alat yang di buat menyesuaikan perhitungan yang ada pada BAB 3, dimana pada perancangan alat ini menggunakan panel surya 100 Wp, inverter 500 Watt, baterai 12V 20 Ah, SCC sebesar 10 ampere dan frame tempat kedudukan dari panel surya. Berikut hasil perancangan yang telah dibuat.



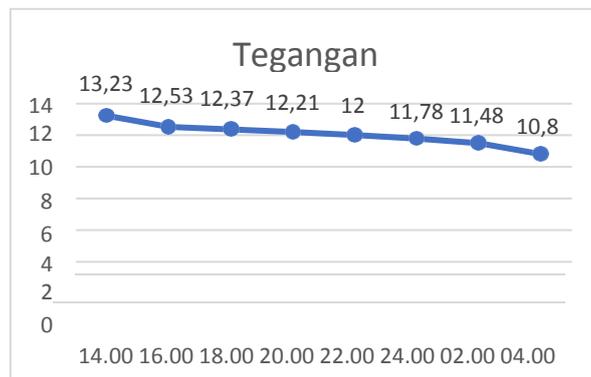
Gambar 12. Hasil Perancangan

4.3. Hasil Uji Coba Pengisian dan Ketahanan Baterai

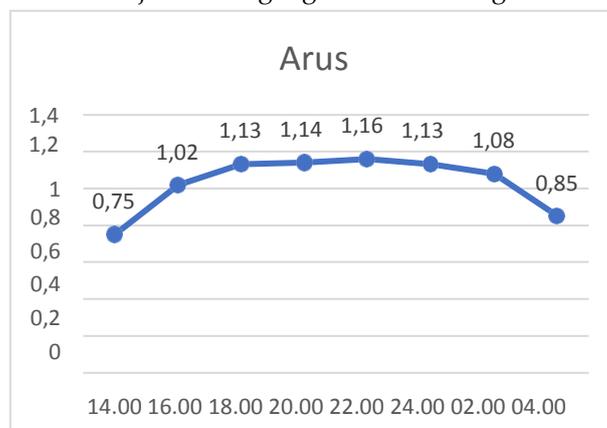
Uji coba kali ini bertujuan untuk mengetahui berapa lama waktu pengisian yang dibutuhkan pada baterai jika dilakukan dari 0 – 100%. Berikut hasil uji coba yang dilakukan.

Tabel 6.
 Hasil Uji Coba Baterai

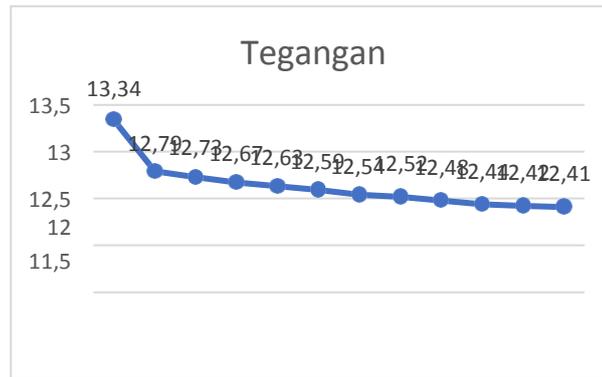
Pengujian	Waktu	Gambar uji coba
Pengecasan	08.00 - 13.00	
Pemakaian Beban AC	14.00 - 04.00	
Pemakaian Beban DC	11.00 - 23.00	



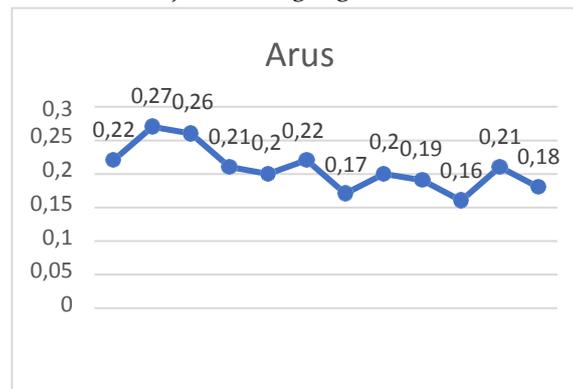
Gambar 13. Uji Coba Tegangan Baterai Dengan Beban AC



Gambar 14. Uji Coba Arus Baterai Dengan Beban AC



Gambar 15. Uji Coba Tegangan Baterai Beban DC



Gambar 16. Uji Coba Arus Baterai Beban DC

Hasil dari pengujian tersebut diketahui bahwa lama pengecasan baterai selama 5 jam, untuk pengujian cobaan baterai menggunakan dua beban yaitu beban pertama berupa alat pengusir hama yang ada dipasaran dengan daya 7 Watt AC dan beban kedua berupa lampu LED DC sebesar 7 Watt. Dari hasil uji coba diketahui penggunaan beban AC bertahan sampai dengan 13 Jam yang dimana pada kondisi tegangan baterai dalam keadaan full sekitar 13,23 Volt dan kondisi batas penggunaan baterai sampai dengan 10,8 Volt. Penggunaan beban DC mampu membackup selama 24 Jam yang dimana keadaan tegangan baterai pada kondisi penuh sebesar 13,34 Volt sampai penggunaan terakhir selama 24 jam sebesar 12,39 Volt hal tersebut masih mampu untuk digunakan backup beberapa jam kedepan, dikarenakan pengaturan batas penggunaan baterai pada SCC sebesar 10,8 Volt sebagai pemutus suplai daya untuk menjaga kondisi baterai.

4.4. Perawatan dan Perbaikan

Penggunaan sistem PLTS (Pembangkit Listrik Tenaga Surya) diluar ruangan pada persawahan memerlukan perawatan dan perbaikan yang baik, agar sistem PLTS dapat bertahan lama dan awet. Berikut perawatan dan perbaikan yang perlu dilakukan.

- 1) Pembersihan PV yang harus dilakukan setiap 2 hari sekali atau saat PV sedang kotor, dimana hal ini dilakukan untuk menjaga penyerapan sinar matahari dapat maksimal.
- 2) Perawatan pada panel box, perawatan ini dilakukan untuk melindungi komponen-komponen yang ada didalamnya. Biasanya pengecekan dilakukan untuk memastikan ketahanan pada panel box, dikarenakan pemasangannya berada di persawahan.
- 3) Perbaikan pada kabel, dikarenakan kondisi pemasangan PLTS berada di persawahan yang dimana terpapar sinar matahari terus menerus, kondisi kabel akan mengalami panas dan kulit kabel dapat terkelupas.

5. Kesimpulan dan Saran

5.1. Kesimpulan

Berdasarkan perancangan "Rancang Bangun Panel Surya Off-Grid untuk Catu Daya Alat Pengusir Hama Tikus" yang telah dibuat dapat disimpulkan sebagai berikut:

- Perancangan PLTS off-grid agar memenuhi standart pemasangan maka langkah langkah yang harus di perhatikan yaitu menentukan titik lokasi dan mencari rata-rata iradiasi diwilayah yang akan di pasang panel surya tersebut. Langkah selanjutnya yaitu memperhitungkan daya yang di butuhkan atau yang akan di backup dengan Panel surya, setelah daya yang dibutuhkan didapatkan selanjutnya menentukan penggunaan jumlah dan spesifikasi panel surya. Untuk Langkah selanjutnya penentuan penggunaan jenis SSC, penggunaan SCC ini menyesuaikan besar arus pada panel surya digunakan.
- Pengujian baterai yang dilakukan mendapatkan hasil dimana untuk pengisian baterai dari 0% – 100% membutuhkan waktu sekitar 5 jam dengan kondisi cuaca yang cerah. Uji ketahanan baterai menggunakan 2 beban berupa beban AC dan DC, daya yang digunakan sama sebesar 7 Watt. Penggunaan beban AC bertahan sampai dengan 13 Jam dan penggunaan beban DC mampu di backup selama 24 Jam.
- Perhitungan RMSE yang mengacu pada gambar 4.1 merupakan perbandingan hasil daya dari software dan pencarian data secara langsung menghasilkan perbandingan nilai eror sebesar 21,76. Selisih error tertinggi terjadi pada hari ke 3, ke 4, dan ke 5, dimana cuaca pada waktu itu sedang mendung sekitar jam 1 siang dan disertai hujan gerimis.

5.2. Saran

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan, penulis menyarankan untuk pengambilan data penelitian kedepannya lebih dari 1 minggu, dikarenakan cuaca yang berubah-ubah. Melihat dari kondisi tersebut alangkah baiknya untuk backup daya menggunakan 3 hari otonomi yang sesuai pada persamaan (4).

Ucapan Terima Kasih

Kegiatan ini didanai oleh NON APBN UM 2022, Indonesia dengan nomor kontrak 19.5.296/UN32.20.1/PM/2022.

Daftar Pustaka

- Nurina Indah Pratiwi, S. (2019). OUTLOOK ENERGI INDONESIA 2019.
- Eryk, I. H. (n.d.). KAJIAN EFEKTIFITAS MOUNTING DAN ANGLE POSITION SOLAR PHOTOVOLTAIC. 6.
- Hadi, W. S., Notosudjono, D., & Fiddiansyah, D. B. (n.d.). PERENCANAAN SISTEM PENERANGAN JALAN UMUM PHOTOVOLTAIK DI TAMAN WISATA MATAHARI. 18.
- Winne, B. K. (2018). PANDUAN STUDI KELAYAKAN PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA SURYA (PLTS) TERPUSAT
- Purwoto, B. H. (2018). EFISIENSI PENGGUNAAN PANEL SURYA SEBAGAI SUMBER ENERGI ALTERNATIF. Emitor: Jurnal Teknik Elektro, 18(01), 10–14.
- Sianipar, R. (2014). DASAR PERENCANAAN PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA SURYA. 11, 18.

- Hidayat, F. (2020). ANALISIS BREAK EVEN POINT (BEP) POMPA LISTRIK TENAGA MODUL SURYA.
- Iskandar, H. R., & Gunawan, A. (2021). UJI KARAKTERISTIK PROTOTYPE PENERANGAN JALAN UMUM TENAGA SURYA BERBASIS INTERNET OF THINGS. *Jurnal Informatika*, 4(2), 13.
- Performance ratio—Quality factor for the PV plant. (n.d.).9.