

**INSTALASI PLTS HYBRID UNTUK AKUAPONIK
SENGKALING**

Tamara Fitri Andansari^a, Aripriharta^b, Muhammad Afnan Habibi^c, Imam Alfianto^d, Satia Nur Maharani^e, Muhammad Yazid^f, Arif Wibawa^g

^{a,b,c,g} Departemen Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Negeri Malang, Malang, Indonesia

^d Departemen Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Negeri Malang, Malang, Indonesia

^eDepartemen Akuntansi, Fakultas Ekonomi dan Bisnis, Universitas Negeri Malang, Malang, Indonesia

^fDepartemen Teknik Biomedik, Fakultas Teknologi Elektro dan Informatika Cerdas, Institut Teknologi Sepuluh Nopember, Surabaya, Indonesia

Info Artikel	Abstrak
Diterima: Oktober 2022 Disetujui: Oktober 2022 Dipublikasikan: November 2022 Kata Kunci: Urban Farming, Energi Baru Terbarukan, Akuaponik, Panel Surya	Urban farming menjadi tren baru kalangan masyarakat, salah satunya ialah akuaponik. Banyaknya masyarakat yang berminat dengan akuaponik membuat orang-orang berlomba menciptakan inovasi yang bersifat terbarukan dan ramah lingkungan. Salah satu upaya untuk mengembangkan inovasi tersebut adalah dengan pemanfaatan energi matahari untuk sumber listrik pada akuaponik. Tugas Akhir ini bertujuan untuk membahas tentang instalasi pembangkit listrik tenaga surya (PLTS) <i>Hybrid</i> dengan skala 320Wp pada akuaponik. Beban PLTS berupa 2 pompa air dengan kapasitas total 120W. Beban beroperasi selama 24 jam. Komponen yang digunakan antara lain: modul photovoltaic (PV) sebagai komponen utama, inverter 500W/10A, baterai 12V 85Ah, dan modul charger controller sebagai pengisi baterai. PLTS yang dibangun menggunakan sistem hibrida. Sistem hibrida merupakan kombinasi dari PLTS dan PLN. Dimana suplai daya utama adalah PLTS dan PLN sebagai backup. Tugas Akhir ini menggunakan metode eksperimen dengan observasi partisipatif yang meliputi pengamatan, pengumpulan data, pembuatan alat, dan pengujian alat. Suplai daya PLTS bekerja selama 12 jam dengan kombinasi PV selama 5.2 jam, Baterai 6.8 jam dan PLN 12 jam. Setelah dilakukan pengujian dalam 3 kondisi yaitu cerah, berawan, dan hujan ringan didapatkan hasil bahwa pada kondisi cerah atau normal sistem hibrida mampu mensuplai daya selama 11 jam 28 menit, tetapi pada kondisi mendung serta hujan ringan PLTS hanya dapat mensuplai selama 11 jam dan kekurangan daya dibackup dari PLN. Sistem PLTS hibrida ini mampu menghemat opsi penggunaan PLN pada kondisi normal. Berdasarkan data pengujian, daya yang dibackup PLN kurang lebih 12 jam per hari. Modal awal yang harus dikeluarkan untuk sistem hibrida ini sebesar Rp. 4.798.813,00- yang akan balik modal dalam kurun waktu 3.68 tahun. Kedepannya, perlu tambahan baterai untuk menyeimbangi suplai PLN

PENDAHULUAN

Selama pandemi covid-19 urban farming menjadi tren baru kalangan masyarakat. Masyarakat memanfaatkan lahan terbuka dan lahan non produktif menjadi lahan hijau sebagai wujud dari urban farming atau usaha pertanian di daerah perkotaan. Menurut data badan pusat statistik (BPS) pada tahun 2020 produksi hortikultura mengalami peningkatan dari pada tahun 2019 yaitu dengan selisih 6,83 point dari 112,43 menjadi 119,26 (Badan Pusat Statistik, 2021). Banyaknya masyarakat yang berminat dengan tanaman hortikultura menjadikan akuaponik solusi yang tepat dalam hal tersebut.

Akuaponik dipilih karena sistemnya yang mudah dan lebih menguntungkan. Akuaponik adalah suatu sistem yang menggabungkan akuakultur dan hidroponik yang bersimbiosis mutualisme. Sistem akuaponik membutuhkan listrik sebagai penggerak pompa untuk proses resirkulasi. Tetapi konsumsi energi listrik terus meningkat setiap tahunnya yaitu per 2021 mencapai 1.109 kilowatt jam (kWh) per kapita pada kuartal III. Selain itu, Penggunaan energi di Indonesia masih didominasi oleh energi fosil terutama batu bara yaitu sebesar 35,46% (Dhini, Vika Azkiya, 2021). Dengan adanya krisis energi pemanfaatan energi baru terbarukan menjadi terobosan dalam mengurangi emisi karbon serta biaya listrik.

Pemanfaatan energi matahari sebagai sumber listrik pada akuaponik menjadi salah satu upaya yang dapat dilakukan. Menurut Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral (KESDM) persentase energi surya mencapai 207,8 gigawatt (GW) atau 4,80kWh/m²/hari dan baru dimanfaatkan sekitar 0,05% yaitu sebesar 103.949MW. Hal tersebut mendorong pemerintah untuk meningkatkan minat masyarakat terhadap energi baru terbarukan terutama energi cahaya matahari (Jayani, 2021).

Energi listrik dihasilkan dari energi cahaya matahari yang dikonversi menggunakan sistem *photovoltaic* yaitu sel surya (Bahari, Laka, 2017). Energi yang

dihasilkan nantinya akan disimpan pada baterai dan inverter akan mengubahnya menjadi listrik AC agar dapat digunakan untuk menggerakkan pompa. Tugas Akhir ini akan berfokus pada instalasi pembangkit listrik tenaga surya (PLTS) *Hybrid* pada akuaponik yang dibangun di daerah Sengkaling.

KAJIAN PUSTAKA

2.1. Akuaponik

Akuaponik merupakan sistem lanjutan dari hidroponik yang mengombinasikan antara akuakultur (memelihara ikan) dan hidroponik (menanam tanaman dengan media tumbuh berupa air) yang bersifat simbiosis mutualisme. Sistem akuaponik menggunakan prinsip bertanam tanpa tanah dengan memanfaatkan air yang tercampur amonia. Air di budidaya ikan banyak mengandung amonia (NH₃), kandungan amonia yang tinggi dapat menjadi racun bagi ikan. Di sisi lain, tanaman seperti sawi, tomat, cabai, selada, kangkung dan jenis tanaman lainnya membutuhkan air yang mengandung berbagai amonia untuk mendukung pertumbuhan. Oleh karena itu, perlu adanya proses resirkulasi. Proses resirkulasi melibatkan penggunaan kembali air di kolam budidaya ikan, kemudian tanaman bertindak sebagai filter vegetasi yang mengurangi zat beracun yang dikandungnya sehingga aman bagi ikan.

Air di kolam ikan akuaponik disirkulasikan oleh pompa melalui pipa ke bagian atas paralon tempat tanaman tumbuh. Prinsip kerja pompa air ini adalah membuat perbedaan pada sisi tekanan dan sisi hisap. Perbedaan pada sisi tekanan tercipta karena mekanisme yang terjadi pada *impeller* yang tidak menggerakkan sisi hisap, melalui perbedaan ini menyebabkan air berpindah dari satu *reservoir* ke *reservoir* lainnya. Untuk menghitung berapa kapasitas pompa yang digunakan perlu mengetahui volume air pada kolam ikan, dapat menggunakan persamaan berikut:

$$V = p \times l \times t \dots \dots \dots (1)$$

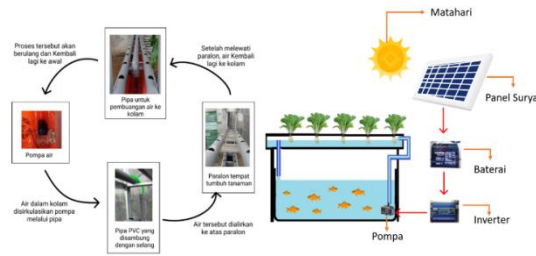
Dimana:

V = volume (l)

p = panjang (cm)

l = lebar (cm)

t = tinggi (cm)



Gambar 1. Sistem akuaponik

2.2. Pembangkit Listrik Tenaga Surya

Pembangkit listrik tenaga surya (PLTS) adalah sistem yang mengubah energi cahaya matahari atau radiasi elektromagnetik menjadi energi listrik dengan prinsip kerja efek *photovoltaic*. Efek *photovoltaic* terjadi karena kontak antara dua elektroda dengan sistem cairan atau padatan yang berada dibawah sinar matahari akan menghasilkan voltase listrik atau tegangan listrik (P. W. Gautama, 2021).

Jumlah listrik bergantung pada cuaca pada daerah pemasangan sistem PLTS. Semakin banyak pancaran cahaya matahari maka semakin banyak pula listrik yang dihasilkan begitu juga sebaliknya, jika pancaran cahaya matahari sedikit atau terjadi mendung maka semakin sedikit pula energi listrik yang dihasilkan. Energi listrik yang berlebihan pada siang hari akan disimpan didalam baterai untuk digunakan kapanpun saat tidak ada cahaya matahari. Gambar 2. merupakan penerapan PLTS.



Gambar 1. PLTS

Sifat kelistrikan panel surya biasanya diwakili oleh sistem tegangan arus atau juga dikenal sebagai kurva IV. Maka daya input panel surya

dipengaruhi oleh intensitas cahaya matahari (W/m^2) dan luas penampang panel surya (m^2). Untuk menghitung daya input yang dihasilkan dapat menggunakan persamaan berikut (U. K. Mukhammad, 2020):

$$P_{in} = I \times A \dots \dots \dots (2)$$

Dimana:

P_{in} = Daya yang masuk panel surya (W)

I = Intensitas cahaya matahari (W/m^2)

A = Luas Penampang Panel Surya (m^2)

Sedangkan untuk mengetahui daya yang dihasilkan panel surya yaitu hasil kali tegangan dan arus (Rusman, 2015):

$$P_{out} = V \times I \dots \dots \dots (3)$$

Dimana:

P_{out} = Daya keluaran modul (W)

V = Tegangan kerja modul (V)

I = Arus kerja modul (A)

Untuk menghitung berapa jumlah panel surya yang akan digunakan bisa menggunakan persamaan berikut (Saodah & Hariyanto, 2019):

$$\Sigma_{modul} = \frac{E_{tot}}{P_{out\ modul} \times S_o} \dots \dots \dots (4)$$

Dimana:

Σ_{modul} = Jumlah modul surya

E_{tot} = Beban total dalam sehari (Wh)

$P_{out\ modul}$ = Daya output modul (W)

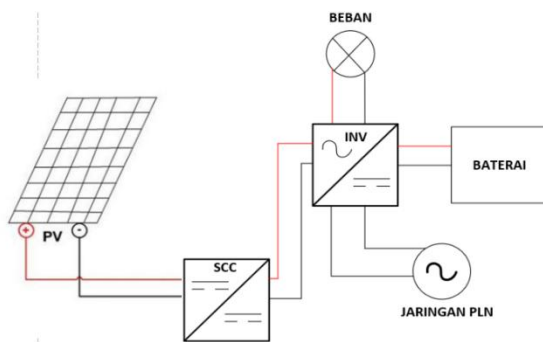
S_o = Lama Penyinaran (h)

Pembangkit listrik tenaga surya (PLTS) dapat dirancang secara mandiri dari skala kecil hingga besar. Sistem pembangkit listrik tenaga surya ada 3 macam yaitu sistem PLTS *On-Grid*, Sistem PLTS *Off-Grid*, dan sistem PLTS Hibrida. Sistem PLTS *On-Grid* merupakan sistem yang terkoneksi jaringan PLN tanpa menggunakan baterai dan kelebihan PLTS *On-Grid* adalah jika listrik terlalu banyak maka listrik dapat dialihkan ke PLN bahkan dibayar oleh PLN untuk setiap listrik yang disuplai ke jaringan PLN. Sistem PLTS *Off-Grid* merupakan sistem yang hanya bersumber dari energi matahari dengan penyimpanan pada baterai tanpa bantuan energi lain atau stand alone. Sistem PLTS *Off-Grid* umumnya ditujukan untuk melistriki daerah-daerah terpencil yang sulit dijangkau dengan jaringan PLN. Sedangkan sistem PLTS

Hibrida merupakan gabungan dari energi matahari dan sumber energi lain seperti energi angin, jaringan PLN dan lain sebagainya.

A. Sistem PLTS Hibrida

Sistem yang digunakan pada Tugas Akhir ini menggunakan sistem PLTS Hibrida. Sistem ini merupakan gabungan dari panel surya dengan satu atau lebih pembangkit listrik pelengkap (seperti diesel, gas alam, atau tenaga angin). Untuk mengoptimalkan koordinasi antara pembangkit listrik ini, sistem PLTS Hibrida biasanya memerlukan peralatan kontrol yang cukup kompleks, tidak seperti sistem PLTS *On-Grid* dan *Off-Grid*. Misalnya PLTS Hibrida dengan daya utama panel surya dan daya pendukungnya jaringan PLN. Cara kerja sistem PLTS Hibrida yaitu akan mencadangkan secara bergantian jika terjadi kekurangan daya atau pemadaman listrik. Ketika konsumsi listrik melebihi kapasitas baterai, maka jaringan PLN secara otomatis menyuplai energi untuk beban. Gambar 3. merupakan skema PLTS Hibrida yang terdiri dari panel surya, SCC, *inverter*, baterai, dan jaringan PLN. Sistem nantinya digunakan untuk menyuplai beban:



Gambar 3. Sistem PLTS Hibrida

B. Panel Surya

Kumpulan beberapa sel surya yang terbuat dari bahan semikonduktor dapat disusun membentuk panel surya yang digunakan untuk mengubah energi cahaya matahari menjadi energi listrik. sel surya tersebut akan berfungsi menyerap cahaya matahari. Cahaya matahari yang diserap oleh sel surya mengandung foton (partikel sinar matahari) atau gelombang

elektromagnetik yang menghasilkan energi kinetik. Energi kinetik ini mampu melepaskan elektron ke pita konduksi yang menimbulkan arus listrik (S. Sukmajati and M. Hafidz, 2015). Kondisi tersebut terjadi karena gerakan elektron yang terlepas dari struktur atomnya atau elektron bebas dengan muatan negatif yang mengisi kekosongan hole (muatan positif). Gerakan inilah yang menyebabkan munculnya arus listrik. Ada 3 jenis panel surya yang digolongkan menurut teknologinya yaitu *monocrystalline*, *polycrystalline*, dan *thin film*. Panel surya *monocrystalline* merupakan panel surya yang tersusun dari satu sel dan cenderung berwarna hitam. Panel surya *polycrystalline* merupakan panel surya yang tersusun dari beberapa sel dan terlihat memiliki retakan pada sel surya. Sedangkan panel surya *thin film* merupakan panel surya dengan sel surya yang lebih tipis, sekitar 1/300 ukuran panel surya *monocrystalline* dan *polycrystalline* hingga 10 nm. Pada Tugas Akhir ini menggunakan panel surya jenis *monocrystalline* yang dipasang secara paralel.



Gambar 4. Panel Surya Monokristal

C. Baterai

Baterai merupakan alat untuk menyimpan energi listrik dalam bentuk kimia dan pengeluaran atau *discharge* dalam bentuk energi kimia menjadi energi listrik (Amin, Mohammad, 2016). Proses yang terjadi di dalam baterai dinamakan reaksi elektrokimia *reversible* (dapat berkebalikan) dengan efisiensi tinggi. Reaksi elektrokimia *reversible* yaitu proses pengubahan zat kimia menjadi energi listrik, begitu juga sebaliknya dari energi listrik menjadi energi kimia dengan cara melewati arus listrik yang ada di dalam

sel dalam arah polaritas berlawanan atau bisa disebut dengan proses regenerasi elektroda (R. M. Hamid and M. Amin). Kapasitas baterai tidak akan digunakan seluruhnya dikarenakan terdapat istilah DoD (*Depth of Discharger*) yaitu baterai dapat dipakai sampai 80% dan menyisahkan 20% yang disebut SoC (*State of Charge*) atau presentase sisa kapasitas baterai yang tersisa. Untuk menentukan total kapasitas baterai yang akan digunakan maka dapat dicari dengan persamaan berikut (Anggara, Kumara, & Giriantari, 2014)

$$E_{Bat} = \frac{E}{V_s} \dots \dots \dots (5)$$

Dimana:

E_{Bat} = Total kapasitas baterai yang diperlukan (Ah)

E = Beban total dalam sehari (Wh)

V_s = Tegangan dasar yang dipakai (V)

Sedangkan jumlah baterai yang akan diperlukan dapat dihitung dengan persamaan berikut (Anggara, Kumara, & Giriantari, 2014):

$$C_b = \frac{E_{Bat} \times d}{DoD} \dots \dots \dots (6)$$

Dimana:

C_b = Jumlah baterai yang digunakan (Ah)

E_{Bat} = Total kapasitas baterai yang diperlukan (Ah)

d = Hari otonomi (Hari)

DoD = *Depth of Discharging* (%)



Gambar 5. Baterai

D. Inverter

Inverter merupakan sebuah konverter daya yang digunakan untuk mengubah arus listrik searah (DC) ke arus listrik bolak balik (AC) melalui tahap rangkaian filter serta pembentukan gelombang yang akan menjadi sinyal sinus (S. N. Hutagalung and M. Panjaitan, 2017). Karena tingkat radiasi matahari cenderung berubah-ubah maka hal tersebut akan mempengaruhi tegangan

masuk DC yang diserap oleh panel surya. Tegangan DC yang tidak konstan akan diubah menjadi tegangan AC yang konstan oleh *inverter* dan tegangan tersebut siap digunakan untuk menjalankan sistem (R. Sianipar, 2014).

Jenis *inverter* harus disesuaikan dengan perencanaan dan desain PLTS yang dibuat seperti *inverter* PLTS *Off-Grid* yang dapat menarik daya dari baterai dan mengubahnya menjadi listrik AC yang bisa diteruskan di panel distribusi. *Inverter* untuk desain sistem PLTS *On-Grid* yang memiliki kemampuan disaat *grid* kehilangan tegangannya *inverter* dapat bertugas untuk melepaskan hubungan (*islanding system*). *Inverter* sistem PLTS Hibrida yang harus memiliki kemampuan *bi-directional* atau kemampuan mengubah arus DC ke AC dan sebaliknya AC ke DC (R. Sianipar, 2014).

Inverter yang digunakan adalah jenis *smart inverter* yang sudah terdapat sistem pelacak titik daya maksimum atau lebih dikenal dengan sistem MPPT (*Maximum Power Point Tracking*). Sistem fotovoltaik langsung terhubung dengan *inverter* yang dapat merubah arus yang masuk dan fase jaringan PLN harus tersinkronisasi dengan fase sinyal AC (P. W. Gautama, 2021). Pada *smart inverter* terdapat lampu indikator *display* untuk mengetahui status beban, daya yang terukur dan status baterai.



Gambar 6. Inverter

E. ATS (*Automatic Transfer Swich*)

ATS (*Automatic Transfer Swich*) merupakan rangkaian kontrol yang bekerja sebagai sekalar otomatis. Tugas Akhir ini menggunakan ATS 2P 63A yang mana pada ATS ini terdapat 2 inputan yang bertugas sebagai suplai utama yaitu PLTS dan suplai cadangan

yaitu listrik PLN. Ketika PLTS tidak menyuplai daya ke beban maka secara otomatis ATS akan memindah ke listrik PLN.



Gambar 7. ATS

2.3. Cost Performance

Nilai efisiensi biaya dalam sebuah produk dapat diketahui dengan cara mencari biaya untuk modal awal dan nilai titik impasnya atau lebih dikenal dengan sebutan BEP (*Break Even Point*). Nilai BEP dapat dihitung menggunakan persamaan sebagai berikut:

$$BEP = \frac{C_{PLTS}}{C_{listrik\ pertahun}} \dots \dots \dots (7)$$

Dimana:

BEP : *Break Even Point* (Rp)

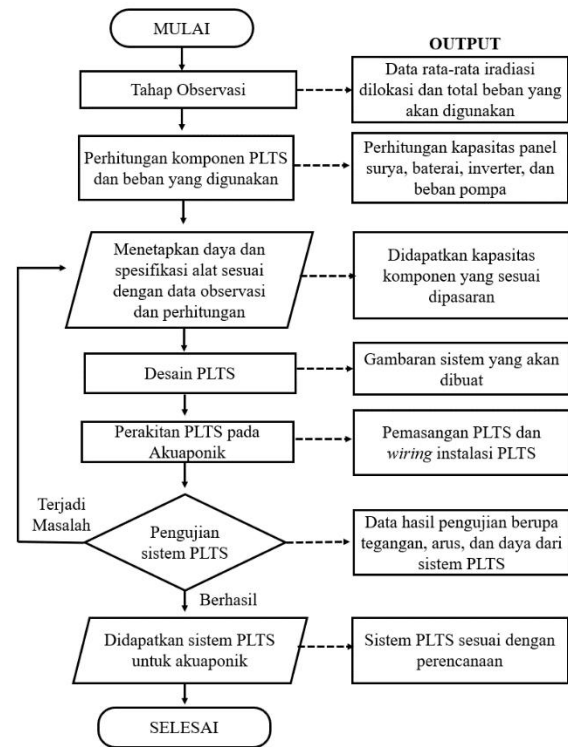
C_{PLTS} = Biaya pembangunan PLTS (Rp)

$C_{listrik\ pertahun}$ = Tarif listrik pertahun (Rp)

1. METODE INSTALASI

3.1 Proses Perencanaan

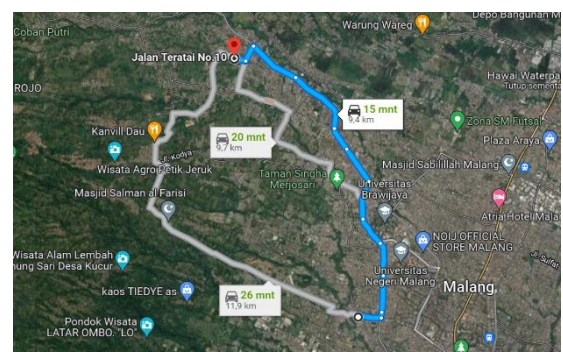
Dalam melakukan Tugas Akhir diperlukan suatu urutan kerja yang digunakan sebagai acuan untuk perancangan sistem dan alat yang akan dibuat. Proses perencanaan berfungsi sebagai gambaran singkat dari pengerjaan yang nantinya berfokus pada perencanaan instalasi PLTS mikro diantaranya observasi, perhitungan beban, desain, perakitan, uji coba dan analisa.



Gambar 8. Proses Perencanaan

3.2 Waktu dan Lokasi Penelitian

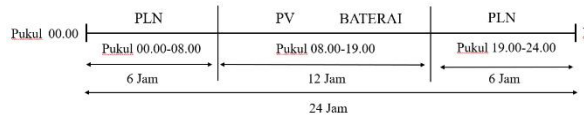
Penelitian ini dilakukan di CV. Bina Sumber Daya tepatnya di Jl. Teratai No. 10 Sengkaling, Kabupaten Malang dengan jarak 9,4 km dari Graha rektorat UM. Perjalanan ke lokasi penelitian dapat di tempuh dengan menggunakan mobil atau sepeda motor dengan waktu sekitar $\pm$ 30 menit dari kota malang dan 15 menit dari Graha Rektorat UM. Waktu penelitian dilaksanakan dari tanggal 4 Maret 2022 – 30 Mei 2022.



Gambar 9. Peta lokasi penelitian

3.3 Deskripsi Sistem

Instalasi PLTS yang dirancang menggunakan sistem hibrida atau sistem gabungan yang menggunakan 3 suplai yaitu dari modul surya, baterai dan jaringan PLN. Gambar 10 merupakan skema rancangan operasi PLTS Hibrida:



Gambar 10. Skema rancangan operasi

3.4 Perhitungan Beban dan Komponen PV

A. Beban Pompa Air

Pada penelitian menggunakan sistem akuaponik bertingkat dengan tinggi akuaponik 3m, tinggi kolam 60cm, lebar kolam 80cm, dan panjang kolam 3m. Kebutuhan pompa dapat dihitung menggunakan persamaan 1:

$$V = p \times l \times t$$

$$V = 300 \times 80 \times 60$$

$$= 1.440 \text{ l}$$

Kapasitas pompa yang dibutuhkan:

$$V \times 2 = 1440 \times 2$$

$$= 2.880 \text{ l/h}$$

Maka kapasitas pompa yang dibutuhkan yaitu pompa dengan daya dorong 2.880l/h atau lebih. Sistem akuaponik membutuhkan sirkulasi air secara terus menerus selama 24jam agar nutrisi tumbuhan terpenuhi. Dengan penggunaan pompa air sebagai berikut:

Tabel 1. Spesifikasi Pompa

Merk	Yamano
Model	WP-105
Power	60 Watt
Tinggi Maksimum	3.0
	Meter
Daya Maksimum	3000
	Liter/jam

Karena menggunakan 2 pompa maka daya listrik yang akan digunakan yaitu $120W \times 24h = 2.880Wh$. Maka dapat dihitung dengan persamaan berikut:

$$E_c = 30\% \times P_{day}$$

$$= 30\% \times 2880h$$

$$= 864Wh$$

$$G_{sistem} + jtr = 30\% \times P_{day}$$

$$= 30\% \times 2880Wh$$

$$= 864Wh$$

$$P_{tot} = E_c + G_{sistem} + P_{day}$$

$$= 864 + 864 + 2880$$

$$= 4608Wh$$

Estimasi kebutuhan listrik pada pompa air akuaponik sebesar 4.608Wh/day atau 4.6kWh/day.

B. Menghitung Kebutuhan PV

Setelah diketahui kebutuhan beban yang digunakan, selanjutnya menghitung kapasitas PV dengan data input, mulai dari PSH (*peak sun hour*) atau isolasi matahari yaitu pada daerah malang sebesar 5,17 jam didapat dari *software* HOMER, *day* DEC (*daily energy consumption*), tegangan maksimum modul (V_m), daya input dan output modul surya, serta efisiensi modul surya. Energi yang dibutuhkan sistem selama 12 jam dari pukul 08:00 hingga 19:00 WIB sebesar 1.440Wh. Maka bisa dihitung menggunakan persamaan 4 berikut:

$$FF = \frac{V_{mp} \times I_{mp}}{V_{oc} \times I_{sc}}$$

$$FF = \frac{19,2 \times 6,25}{24,8 \times 6,65}$$

$$FF = 0,727$$

$$\Sigma_{modul} = \frac{E_{tot}}{P_{Out\ modul} \times S_o}$$

$$\Sigma_{modul} = \frac{1.440Wh}{100 \text{ W} \times 5,17h}$$

$$\Sigma_{modul} = 2,78$$

Kapasitas Modul Surya = $\Sigma_{modul} \times P_{Out\ modul}$

Kapasitas Modul Surya = $2,78 \times 100 = 278Wp$

Nilai dari kapasitas modul surya ini perlu ditambah 15% s/d 25% sebagai rugi-rugi sistem. Sehingga kapasitas modul setelah ditambah nilai rugi-

rugi sistem sebesar 319.7Wp sampai dengan 347.5Wp. Karena sistem pembangkit yang digunakan ialah sistem hibrida maka listrik PLN akan mencadangkan jika terjadi kekurangan daya dan jumlah panel yang akan digunakan adalah 2 panel surya dengan daya 100Wp dan 1 panel surya dengan daya 120Wp. Jadi total daya panel surya yang digunakan adalah 320Wp.

3.5 Menentukan Kapasitas Baterai

Baterai yang digunakan dapat ditentukan dengan menggunakan persamaan 5 sebagai berikut:

$$E_{Bat} = \frac{E}{V_s}$$

$$E_{Bat} = \frac{1440Wh}{12V}$$

$$E_{Bat} = 120Ah$$

Dari hasil perhitungan kapasitas baterai didapatkan 120Ah sedangkan DoD (*Depth of Discharging*) pada baterai VRLA sebesar 80%, diasumsikan akan memakai baterai 100Ah, Maka kapasitas dan jumlah baterai yang digunakan dapat dihitung dengan persamaan 6:

$$C_b = \frac{E_{Bat} \times d}{DOD}$$

$$C_b = \frac{120Ah \times 0,541day}{80\% \times 100Ah}$$

$$C_b = 0,8115Ah$$

Kapasitas Baterai = $P_{Bat} \times C_b$

Kapasitas Baterai = $100 \times 0,8115 = 81,15 Ah$

Maka baterai yang akan digunakan adalah 1 baterai dengan kapasitas 85 Ah dengan jenis VRLA AGM (*Valve Regulated Lead Acid*).

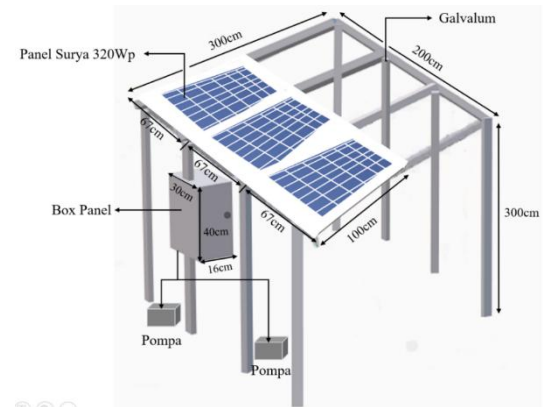
3.6 Smart Inverter

Penentuan *inverter* didapat dari total beban puncak atau total beban keseluruhan. Pada penelitian didapat total beban yaitu 120W. Maka daya *output inverter* yang digunakan harus lebih dari 120W. Daya *inverter* yang digunakan sebesar 500W DC 12V to AC 220V. Pada penelitian ini menggunakan *smart inverter* yang mana SCC dan *inverter* sudah jadi satu.

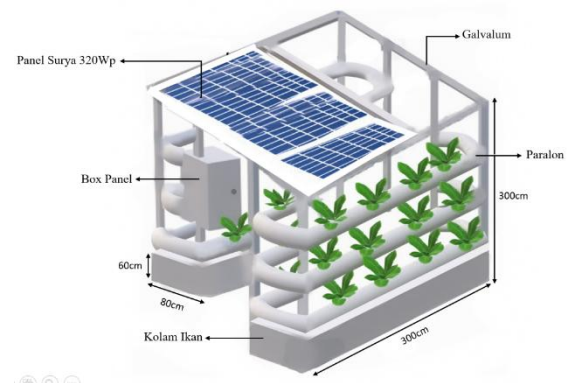
3.7 Desain Sistem PLTS

Sebelum merakit sebuah alat hal yang perlu dilakukan yaitu mendesain atau merancang alat

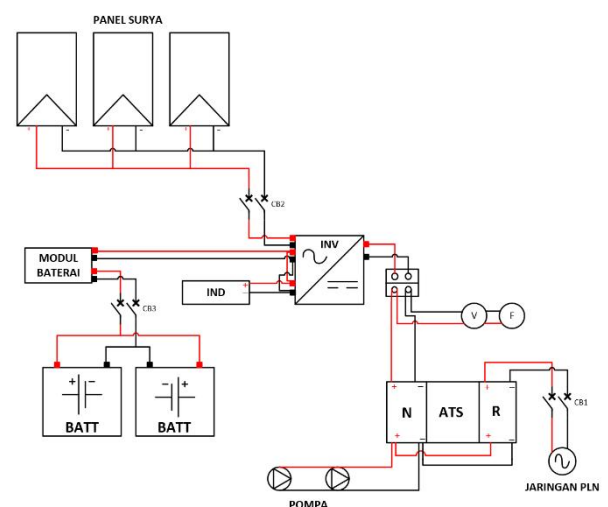
agar saat pengerjaan memiliki pandangan sistem yang akan dibuat. Pada Gambar 11. merupakan desain rangka sistem PLTS sebelum dipasang paralon untuk akuaponik, Gambar 12. merupakan desain sistem PLTS yang sudah terintegrasi dengan akuaponik, dan Gambar 13. merupakan *wiring diagram* instalasi PLTS.



Gambar 11. Rangka Sistem PLTS



Gambar 12. Rangka PLTS dan Akuaponik



Gambar 13. Wiring diagram PLTS

4. HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1. Data Survey

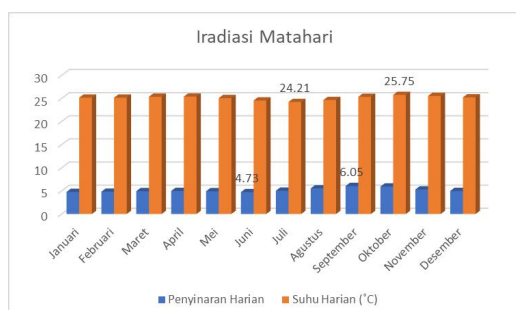
A. Data intensitas iradiasi matahari

Data intensitas iradiasi matahari diambil menggunakan *software* HOMER dengan memasukan lokasi didaerah Sengkaling Kecamatan Dau malang.

Bulan	Indeks Kejelasan	Penyinaran Harian (kWh/m ² /hari)	Suhu Harian (°C)
Januari	0.441	4.770	25.150
Februari	0.445	4.820	25.150
Maret	0.470	4.940	25.350
April	0.511	4.980	25.380
Mei	0.555	4.920	25.050
Juni	0.565	4.730	24.540
Juli	0.587	5.030	24.210
Agustus	0.594	5.540	24.640
September	0.596	6.050	25.320
Oktober	0.558	5.940	25.750
November	0.492	5.300	25.520
Desember	0.464	4.990	25.210
Rata-rata	0.52	5.17	25.11

Tabel 2. Data radiasi daerah sengkaling

Berdasarkan Tabel 2. data rata-rata radiasi matahari didaerah Sengkaling sebesar 5.17kWh/m²/hari atau dapat dibulatkan menjadi 5.2kWh/ m²/hari. Untuk mempermudah menganalisa maka dibuat diagram batang pada Gambar 14.



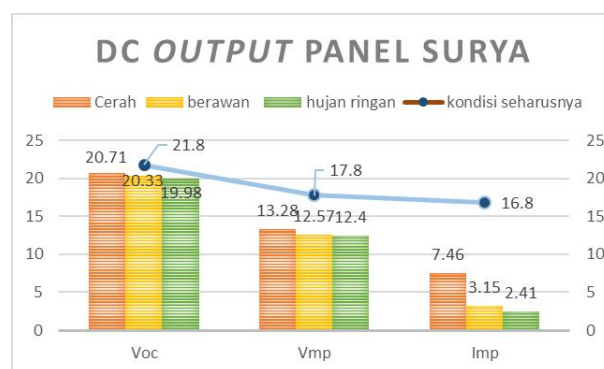
Gambar 14. diagram batang Iradiasi Matahari

Berdasarkan Gambar 14 potensi radiasi tertinggi dibulan September sebesar 6.05kWh/m²/hari sedangkan potensi radasi terendah dibulan Juni sebesar 4.73kWh/m²/hari. Untuk rata-rata suhu

didaerah sengkaling yaitu 25.11°C dengan suhu tertinggi berada dibulan oktober sebesar 25.75°C dan suhu terendah berada dibulan Juli sebesar 24.21°C.

B. Data Pengujian PLTS

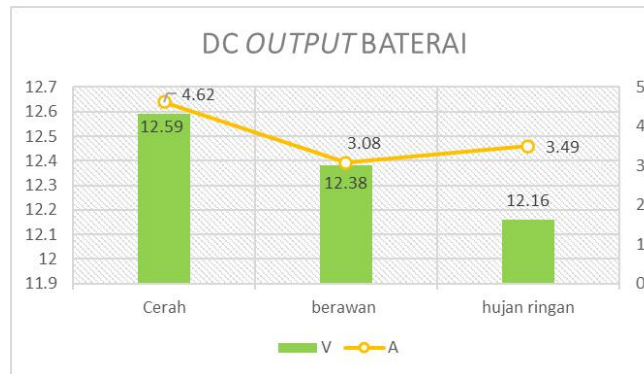
Pengujian PLTS dengan beban pompa 120Watt dengan baterai 85Ah. Berikut hasil pengukuran arus dan tegangan PLTS selama 12jam mulai pukul 08.00 sampai pukul 19.00 WIB dari tanggal 20 Mei pada kondisi hujan ringan, 23 Mei pada kondisi berawan dan 29 Mei pada kondisi cerah:



Gambar. 15 Grafik DC output panel surya

Berdasarkan data hasil pengujian yang ditunjukkan pada Gambar 15 keluaran yang dihasilkan panel surya cenderung mengalami penurunan ketika cuaca berubah. Tegangan yang dihasilkan panel surya mengalami penurunan dari 13.28V menjadi 12.57V pada keadaan berawan dan 12.4V dalam keadaan hujan ringan. Sedangkan arus yang dihasilkan oleh panel surya yaitu 7.46A pada keadaan cerah dan mengalami penurunan 4.31A menjadi 3.15A pada keadaan berawan dan 2.41A pada keadaan hujan ringan. Hal tersebut dipengaruhi oleh intensitas cahaya yang diserap oleh panel surya. Semakin banyak cahaya yang diserap oleh panel surya maka tegangan dan arus panel surya semakin besar begitu juga sebaliknya. Hasil pengukuran mengalami selisih dari *datasheet* panel, seharusnya nilai Voc pada keadaan normal yaitu 21.8V menjadi 20.17V pada hasil pengukuran, hal tersebut menyebabkan eror sebesar 1.09%. Vmp dan Imp pada hasil pengukuran yaitu 13.28V dan 7.46A seharusnya tegangan dan arus yang dihasilkan yaitu 17.8V dan 16.8A karena panel surya

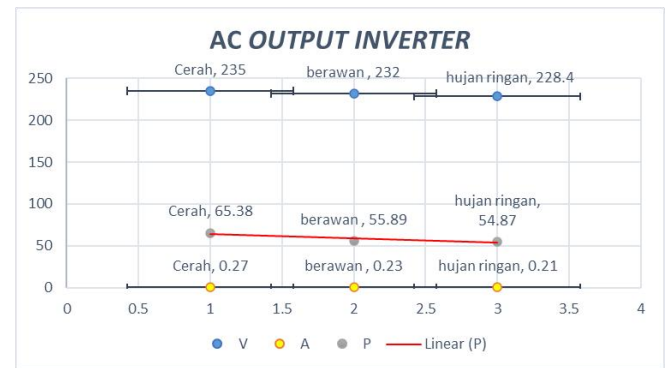
dipasang secara paralel. Faktor yang mempengaruhi terjadinya penurunan arus dan tegangan dipengaruhi oleh gangguan salah satu panel yaitu terjadi bayang bayang pohon pada pukul 09.00 sampai dengan 10.30 WIB dan bayang bayang bangunan tinggi pada pukul 15.00 WIB yang menyebabkan arus dan tegangan yang dihasilkan tidak sama dengan spesifikasi datasheet panel.



Gambar 16. DC output baterai

Berdasarkan data hasil pengujian yang ditunjukkan pada Gambar 16 pengukuran tegangan baterai pada kondisi cerah yaitu 12.59V, kondisi berawan 12.38V, dan kondisi hujan ringan 12.16V mengalami penurunan berturut-turut sebesar 0.21V dan 0.22V. Sedangkan arus baterai pada

keadaan cerah, berawan, dan hujan ringan berturut-turut sebesar 4.62A, 3.08A, dan 3.49A. Pada hal ini arus baterai ketika kondisi cerah cenderung besar disebabkan karena arus dari panel yang terpakai ke beban dan mengecas ke baterai sehingga keadaan baterai bisa dikatakan penuh. Sedangkan pada kondisi berawan arus pada baterai lebih kecil daripada kondisi hujan ringan dikarenakan arus pada panel surya cenderung kecil dan hanya menyuplai beban yang menyebabkan baterai tidak mengecas pada pukul 12.00 sampai 14.00 WIB dan baterai bergantian menyuplai daya ke beban. Sedangkan pada kondisi hujan ringan arus pada baterai cenderung lebih besar dikarenakan baterai bekerja lebih banyak untuk menyuplai daya ke beban karena daya yang dihasilkan panel cenderung lebih sedikit dibanding cuaca cerah dan berawan. Maka dari itu arus pada baterai cenderung besar.



Gambar 17. AC output inverter

Berdasarkan data hasil pengujian yang ditunjukkan pada Gambar 17 keluaran AC inverter bisa dikatakan stabil pada keadaan cerah, berawan, dan hujan ringan.

4.2. Hasil Desain

Berdasarkan perencanaan desain yang dibuat pada subab 3.6 ada perubahan peletakan komponen dengan mempertimbangkan tempat dan keperluan kabel agar efisien. Perubahan terletak pada kotak panel yang awalnya diletakkan dibagian depan sistem akuaponik diubah dibagian akhir sistem akuaponik. Gambar 18 merupakan perbandingan desain perencanaan dan hasil desain.



Gambar 18. (a) perencanaan desain (b) hasil desain

4.3. Analisa

Sistem PLTS yang digunakan ialah sistem PLTS Hibrida yang memiliki kelebihan yaitu jika daya yang dihasilkan panel surya dan baterai tidak mencukupi maka listrik PLN dapat mengambil alih suplai daya ke beban. Dengan daya utama yaitu PLTS dan daya darurat adalah listrik PLN. Untuk mengetahui berapa lama baterai dapat mencadangkan beban dapat dihitung dengan rumus berikut:

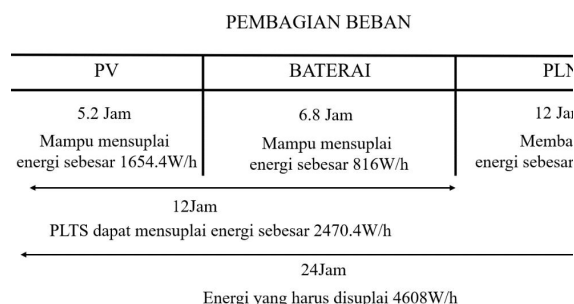
$$\begin{aligned}
 \text{Beban} &= 120\text{Watt} \\
 \text{Baterai} &= DoD \times P_{Bat} = 80\% \times 85 \text{ Ah} \\
 &= 68\text{Ah} \\
 I = \frac{P}{V} &= \frac{120\text{W}}{12\text{V}} \\
 &= 10\text{A} \\
 t_{Backup} &= \frac{P_{Batt}}{I} \\
 &= \frac{68\text{Ah}}{10\text{A}} \\
 &= 6,8\text{h}
 \end{aligned}$$

Sehingga didapatkan hasil lama baterai dapat mencadangkan beban yaitu selama 6,8 jam. Berdasarkan hasil yang diperoleh dari lama *backup* baterai maka untuk menentukan daya yang disuplai baterai dapat menggunakan rumus berikut:

$$\begin{aligned}
 P_{Suplay} &= E_{puncak} \times t_{Backup} \\
 &= 120\text{W} \times 6,8\text{h} \\
 &= 816\text{Wh}
 \end{aligned}$$

Jadi baterai dapat menyuplai energi sebesar 816Wh. Sedangkan panel surya dapat menyuplai energi sebesar 1654.4Wh didapat dari daya panel surya dikali dengan lama penyinaran matahari 5.2 jam dan listrik PLN dapat mencadangkan kekurangan energi yang diperlukan yaitu sebesar 2137.6Wh.

Gambar 19 merupakan pembagian beban yang harus disuplai panel surya, baterai dan PLN



Gambar 19. Pembagian beban 3 mode

Setelah mengamati Gambar 19 dapat dibandingkan dengan data pengujian PLTS dapat menyuplai beban selama 12 jam sedangkan dalam uji coba langsung PLTS dapat menyuplai beban selama kurang lebih 11 jam 28 menit dimulai dari pukul 06.40

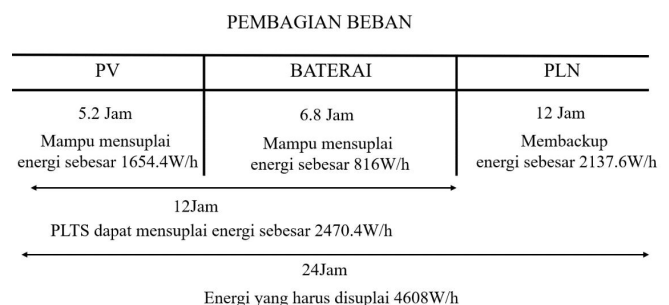
WIB daya dari panel surya masih belum mencukupi maka *switch* pada ATS masih belum stabil dan berpindah dari PLTS ke PLN sampai pada pukul 07.50 WIB daya dari PLTS sudah stabil. Perbedaan hasil perhitungan dan uji coba langsung yaitu 32 menit yang mana hal tersebut masih dalam batas toleransi

$$\begin{aligned}
 \text{Beban} &= 120\text{Watt} \\
 \text{Baterai} &= DoD \times P_{Bat} = 80\% \times 85 \text{ Ah} \\
 &= 68\text{Ah} \\
 I = \frac{P}{V} &= \frac{120\text{W}}{12\text{V}} \\
 &= 10\text{A} \\
 t_{Backup} &= \frac{P_{Batt}}{I} \\
 &= \frac{68\text{Ah}}{10\text{A}} \\
 &= 6,8\text{h}
 \end{aligned}$$

Sehingga didapatkan hasil lama baterai dapat mencadangkan beban yaitu selama 6,8 jam. Berdasarkan hasil yang diperoleh dari lama *backup* baterai maka untuk menentukan daya yang disuplai baterai dapat menggunakan rumus berikut:

$$\begin{aligned}
 P_{Suplay} &= E_{puncak} \times t_{Backup} \\
 &= 120\text{W} \times 6,8\text{h} \\
 &= 816\text{Wh}
 \end{aligned}$$

Jadi baterai dapat menyuplai energi sebesar 816Wh. Sedangkan panel surya dapat menyuplai energi sebesar 1654.4Wh didapat dari daya panel surya dikali dengan lama penyinaran matahari 5.2 jam dan listrik PLN dapat mencadangkan kekurangan energi yang diperlukan yaitu sebesar 2137.6Wh. Gambar 19 merupakan pembagian beban yang harus disuplai panel surya, baterai dan PLN.



Gambar 19. Pembagian beban 3 mode

Setelah mengamati Gambar 19 dapat dibandingkan dengan data pengujian PLTS dapat menyuplai beban selama 12 jam sedangkan dalam uji

coba langsung PLTS dapat menyuplai beban selama kurang lebih 11 jam 28 menit dimulai dari pukul 06.40 WIB daya dari panel surya masih belum mencukupi maka *switch* pada ATS masih belum stabil dan berpindah dari PLTS ke PLN sampai pada pukul 07.50 WIB daya dari PLTS sudah stabil. Perbedaan hasil perhitungan dan uji coba langsung yaitu 32 menit yang mana hal tersebut masih dalam batas toleransi.

4.4. Cost Performance

Cost performance dapat diketahui menggunakan dua aspek yaitu modal awal dan menghitung BEP (*Break Even Point*).

A. Modal Awal

Merancang sebuah sistem PLTS diperlukan modal awal yang digunakan untuk melengkapi alat dan bahan yang dibutuhkan agar sistem dapat didirikan. Dapat diketahui bahwa biaya instalasi PLTS Hibrida adalah sebesar Rp. 4.751.300. sedangkan untuk biaya pemeliharaannya sebesar 1-2% dari biaya investasi awal. Total biaya awal PLTS dan

Periode	Iradiasi (kWh/m ²)	Luas PV (m ²)	Efisiensi PV (%)	Daya aktual (kWh)
PLTS 1 Tahun	157.63	2.1	16.93	54.47

perawatannya sebagai berikut:

$$\begin{aligned} \text{Biaya Total PLTS} \\ &= (1\% \times \text{Rp } 4.751.300) \\ &+ \text{Rp } 4.751.300 \end{aligned}$$

$$\text{Biaya Total PLTS} = \text{Rp } 4.798.813$$

Maka dapat disimpulkan bahwa modal awal pembuatan sistem PLTS serta pemeliharanya adalah sebesar Rp. 4.798.813.

B. Menghitung BEP

Sistem PLTS yang digunakan ialah sistem PLTS Hibrida. Berdasarkan Gambar 4.5 mengenai pembagian beban yang dapat disuplai oleh PLTS yaitu sebesar 2.470Watt per hari. Tarif listrik dengan daya 1300 VA adalah sebesar Rp 1.444.70 per kWh. Maka dapat

dihitung tarif listrik yang dibayarkan menggunakan persamaan berikut:

$$\text{Tarif Listrik} = 2.47\text{kWh} \times \text{Rp } 1.444.70$$

$$\text{Tarif Listrik} = \text{Rp } 3.568,4 \text{ --/hari}$$

Setelah dihitung dapat diketahui tarif listrik yang harus dibayar sebesar Rp. 3.568,4 per harinya, maka biaya listrik yang akan dibayarkan selama satu tahun ialah:

$$\text{Tarif Listrik} = \text{Rp } 3.568,4 \times 365$$

$$\text{Tarif Listrik} = \text{Rp } 1.302.466 \text{ --/Tahun}$$

Jadi selama satu tahun tarif listrik yang harus dibayarkan yaitu Rp. 1.302.466, maka untuk menghitung lama biaya pembangunan PLTS Hibrida akan kembali modal dapat menggunakan persamaan 7:

$$BEP = \frac{C_{PLTS}}{C_{listrik \text{ pertahun}}}$$

$$BEP = \frac{\text{Rp } 4.798.813}{\text{Rp } 1.302.466}$$

$$BEP = 3,68 \text{ tahun}$$

Jadi biaya pembangunan instalasi PLTS Hibrida akan balik modal dalam kurun waktu kurang lebih 3.68 tahun.

4.5. Performance Ratio

Performance ratio digunakan untuk mengevaluasi efisiensi dari PV. Tabel 3 menunjukkan parameter yang digunakan untuk menghitung *performance ratio*.

Tabel 3 Parameter yang digunakan

Berdasarkan Tabel 3 daya prediksi dapat dihitung menggunakan rumus sesuai dengan persamaan 8.

$$P_{prediksi} = 157.63 \frac{\text{kWh}}{\text{m}^2} \times 2.1 \text{ m}^2 \times 16.93\%$$

$$P_{prediksi} = 56.04 \text{ kWh}$$

Nilai rasio performa dapat dihitung dengan membagi daya prediksi dengan daya aktual. Maka nilai tersebut dapat dihitung menggunakan persamaan 9:

$$PR = \frac{54.47 \text{ kWh}}{56.04 \text{ kWh}}$$

$$PR = 0.97$$

Jadi rasio performa dari PLTS Hibrida yang dibangun memiliki efisiensi sebesar 97%.

4.6. Perawatan dan Perbaikan

Mengetahui perawatan dan perbaikan pada PLTS sangat diperlukan untuk menjaga sistem PLTS agar tetap aman dan dapat menghemat biaya perawatan maupun perbaikan jika terjadi masalah dikemudian hari. Perawatan dan perbaikan sistem PLTS ini antara lain:

1. Untuk mendapatkan kinerja terbaik dari modul surya, modul tidak boleh kotor. Hal yang harus diperhatikan adalah menjaga panel surya bebas dari debu dan kotoran yang dapat menahan sinar matahari.
2. Pada instalasi panel surya jangan biarkan air masuk ke sistem instalasi karena dapat menyebabkan korosi dan mempengaruhi umur panel surya.
3. Pada baterai panel surya usahakan jangan sampai daya pada baterai habis maka dari itu diperlukan modul untuk menjaga daya pada baterai agar terkuras.
4. Jika terjadi masalah pada inverter hal yang dapat dilakukan yaitu dengan memeriksa *grounding*, memeriksa susunan *wiring inverter*, memeriksa bagian *input/output inverter*, dan memeriksa kabel DC.
5. Pada pembebanan jika terjadi masalah hal yang perlu dilakukan yaitu dengan memeriksa semua sakelar, memeriksa tegangan yang ada dengan multimeter, memeriksa sekering dan pemutus arus, memeriksa tegangan sistem dan koneksi beban.

KESIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian mengenai Instalasi PLTS Mikro untuk Akuaponik Sengkaling dapat diambil kesimpulan yaitu:

1. Rancangan sistem PLTS mikro untuk akuaponik telah dilakukan di Jl. Teratai No.10 Sengkaling Malang dengan kapasitas 0.32kWp pada bulan Mei 2022 menggunakan sistem hibrida dengan energi utama yaitu PLTS dan energi untuk *membakup* adalah jaringan PLN. Sistem sudah berhasil diuji coba dan berjalan dengan normal. Komponen yang digunakan

yaitu modul surya jenis monokristal 100Wp sebanyak 2 buah dan 120Wp sebanyak 1 buah dengan baterai 85Ah serta *inverter* kapasitas 500W/10A.

2. Instalasi PLTS mikro untuk beban pompa akuaponik dengan kapasitas daya total 120W sudah berhasil diuji coba dan berjalan dengan normal. Dengan pemasangan panel surya secara paralel yang dihubungkan ke *inverter* dan baterai dipasang secara paralel dengan keluaran *inverter* menuju ke ATS yang mana PLTS sebagai sumber utama dan PLN sebagai *backup* daya.
3. Dari hasil pengukuran durasi penggunaan PV dan baterai mampu menyuplai selama 11 jam 28 menit dimulai dari pukul 07.50 WIB sampai dengan pukul 18.18 WIB pada kondisi cerah atau normal dan pada kondisi berawan serta hujan ringan PV dan baterai hanya mampu menyuplai selama 11 jam. Perbedaan hasil perhitungan dan uji coba langsung yaitu 32 menit yang mana hal tersebut dapat dipengaruhi oleh besarnya intensitas cahaya, semakin banyak cahaya yang diserap oleh panel surya maka daya total panel surya semakin besar begitu juga sebaliknya.
4. Perawatan dan perbaikan untuk instalasi PLTS ini cukup mudah yaitu dengan mengecek komponen secara rutin. Jika terjadi gangguan pada kompoen baterai *inverter*, dan beban maka dapat memeriksa *grounding*, memeriksa susunan *wiring*, tegangan sistem dan koneksi beban. Jika pada instalasi panel surya terdapat lubang maka harus ditutup agar air tidak dapat masuk ke sistem instalasi karena dapat menyebabkan korosi dan mempengaruhi umur panel surya.

UCAPAN TERIMA KASIH

Tim Penulis mengucapkan terima kasih kepada Dana Internal Universitas Negeri Malang yang telah mendanai kegiatan pengabdian dengan nomor kontrak 19.5.293/UN32.20.1/PM/2022.

REFERENSI

- A. Goetzberger And V. U. Hoffmann, Photovoltaic Solar Energy Generation. Berlin ; New York: Springer, 2005.
- Amin, Mohamad, (2016), Bahan Ajar Sistem Kelistrikan Alat Berat Politeknik Negeri Balikpapan, Balikpapan.
- Anggara, I., Kumara, I., & Giriantari, I. (2014). Studi Terhadap Unjuk Kerja Pembangkit Listrik Tenaga Surya 1,9 Kw. *E-Journal Spektrum Vol. 1, No. 1* Desember 2014.
- Badan Pusat Statistik. 2021. Indikator Pertanian Tahun 2020. Jakarta Pusat : Badan Pusat Statistik.
- Debnath, S., Marthi, P. R. V., Xia, Q., Pan, J., Saeedifard, M., Vipin, V. N., Chakraborty, S., & Arifujjaman, M. (2021). Renewable Integration in Hybrid AC/DC Systems Using a Multi-Port Autonomous Reconfigurable Solar Power Plant (MARS). *IEEE Transactions on Power Systems*, 36(1), 603–612. <https://doi.org/10.1109/TPWRS.2020.3037520>
- Dhini, Vika Azkiya. 2021. “Kosumsi Listrik Per Kapita Indonesia Capai 1109 Kwh Pada Kuartal Iii 2021”. [Online] [Http://Databoks.Katadata.Co.Id/Datapublish/2021/12/10/](http://Databoks.Katadata.Co.Id/Datapublish/2021/12/10/). Diakses Pada Tanggal 6 Februari 2022.
- Gumintang, M.F, Sofyan F.M & Sulaeman. 2020. “ *Design and Control of PV Hybrid System in Practice*”. Jakarta: Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit (GIZ)
- Jayani, Dwi Hadya. 2021. “Berapa Potensi Energi Terbarukan Di Indonesia”. [Online] <https://Databoks.Katadata.Co.Id/Datapublish/2021/03/09/>. Diakses Pada Tanggal 6 Februari 2022.
- Kementerian Energi Dan Sumber Daya Mineral. 2021. “Pemerintah Petakan Pemenuhan Kebutuhan Energi Hingga 2040”. [Online] <https://Www.Esdm.Go.Id/Id/Media-Center/Arsip-Berita>. Diakses Pada Tanggal 6 Februari 2022
- Li, F., Li, C., Sun, K., Zhang, J., & Li, H. (2020). Capacity configuration of hybrid CSP/PV plant for economical application of solar energy. *Chinese Journal of Electrical Engineering*, 6(2), 19–29. <https://doi.org/10.23919/CJEE.2020.000008>
- P. W. Gautama, “Perencanaan Pembangkit Listrik Tenaga Surya (Plts) Sistem Off Grid dengan Kapasitas 2 Kwp Pada Instalasi Menara Suar Bulukumba,” P. 105, 2021.
- Reddy, S. S., & Momoh, J. A. (2015). Realistic and Transparent Optimum Scheduling Strategy for Hybrid Power System. *IEEE Transactions on Smart Grid*, 6(6), 3114–3125. <https://doi.org/10.1109/TSG.2015.2406879>
- R. M. Hamid And M. Amin, “Rancang Bangun Charger Baterai untuk Kebutuhanan,” Vol. 4, No. 2, P. 7.
- R. Sianipar, “Dasar Perencanaan Pembangkit Listrik Tenaga Surya,” Vol. 11, P. 18, 2014.
- Saodah, S., & Hariyanto, N. (2019). Perancangan Sistem Pembangkit Listrik Hybrid Dengan Kapasitas 3 Kva. 4.
- S. Bahari And A. Laka, “Pengaruh Perubahan Arah Sudut Sel Surya Menggunakan Energi Matahari Intensitas Cahaya Terhadap Tegangan,” P. 8.
- S. N. Hutagalung And M. Panjaitan, “Prototype Rangkaian Inverter Dc Ke Ac 900 Watt,” Vol. 6, P. 3, 2017.
- S. Sukmajati And M. Hafidz, 2015. “Perancangan Dan Analisis Pembangkit Listrik Tenaga Surya Kapasitas 10 Mw On Grid Di Yogyakarta,” P. 15.
- Sunpower. 2020. “Prinsip Dan Cara Kerja Sel Surya” [Online] <https://Www.Sanspower.Com/>. Diakses Pada Tanggal 8 April 2022.