

PERANCANGAN PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA HYBRID (PHOTOVOLTAIC-MIKROHIDRO) MENUJU DESA MANDIRI ENERGI DI KAMPUNG DOSAY, DISTRIK SENTANI BARAT, KABUPATEN JAYAPURA, PAPUA

Briyantama Risdian Putra,¹ Jakobus Kariongan,² Johanis Aryo P. B. Bay,³ Marthen Liga,⁴
Afner S. Sinaga,⁵ dan Theresia Wuri O⁶
Universitas Cenderawasih, Fakultas Teknik,
Kampus Baru Jl. Kamp Wolker Waena, Jayapura, Papua, 99351, Indonesia
briyantama99@gmail.com

Diterima : Johanis Aryo P. B. Bay

; Disetujui : Johanis Aryo P. B. Bay

ABSTRAK

Untuk merancang PLTH (photovoltaic-mikrohidro) untuk menuju DME Kampung Dosay. Untuk menganalisis karakteristik daya keluaran berdasarkan hasil konfigurasi sistem yang optimal menggunakan aplikasi HOMER. Untuk menentukan kapasitas PV yang optimal dalam memenuhi kebutuhan beban serta memaksimalkan potensi radiasi sinar matahari untuk PLTS dan aliran sungai untuk PLTMH dalam mencapai RE. Untuk mengetahui hasil asumsi kelayakan investasi dan kajian ekonomi menggunakan metode NPV, PI, dan DPP. Mengumpulkan data intensitas radiasi matahari yang bersumber dari publikasi Aplikasi HOMER. Metode observasi langsung dengan melakukan penelitian yang berlokasi di PLTMH Kampung Dosay. Konfigurasi PLTH yang paling optimal berdasarkan nilai NPC terdiri dari PLTS 15kW, PLTMH 49kW, 105 baterai dan inverter 24kW dengan total NPC sebesar Rp.4.651.357.000, biaya pembangkitan listrik sebesar Rp.3.014,70. Energi listrik yang dihasilkan PLTH dalam setahun adalah 207.207 kWh. Berdasarkan Hasil energi listrik yang dihasilkan dapat memenuhi kebutuhan energi listrik dalam mencapai RE dan menuju DME di Kampung Dosay. Kemudian secara asumsi kelayakan investasi dan kajian ekonomi untuk PLTMH memperoleh hasil NPV bernilai positif, PI lebih dari 1 sehingga layak diterima serta memerlukan waktu 22,1 tahun untuk kembali modal. Sedangkan untuk PLTS memperoleh hasil NPV bernilai negatif, PI lebih kecil dari 1 sehingga tidak layak diterima serta hingga tahun ke-25 belum kembali modal.

Kata kunci : PLTH, PLTS, PLTMH

ABSTRACT

To design a PLTH (photovoltaic-microhydro) to go to DME Kampung Dosay. To analyze the characteristics of the output power based on the results of the optimal system configuration using the HOMER application. To determine the optimal PV capacity to meet load requirements and maximize the potential for solar radiation for PV mini-grid and river flow for PLTMH in achieving RE. To find out the results of investment feasibility assumptions and economic studies using the NPV, PI, and DPP methods. Collecting data on the intensity of solar radiation sourced from the publication of the HOMER Application. Direct observation method by conducting research located at the PLTMH Kampung Dosay. The most optimal configuration of PLTH based on the NPC value consists of PLTS 15kW, PLTMH 49kW, 105 batteries and 24kW inverter with a total NPC of Rp. 4,651,357,000, electricity generation costs of Rp. 3,014,70. The electrical energy produced by PLTH in a year is 207,207 kWh. Based on the results of the electrical energy produced, it can meet the needs of electrical energy in reaching the RE and towards the DME in Dosay Village. Then, assuming the feasibility of investment and economic studies for PLTMH, the results of the NPV are positive, the PI is more than 1 so it is acceptable and it takes 22.1 years to get the capital back. Meanwhile, PLTS has a negative NPV, the PI is less than 1 so it is not acceptable and until the 25th year the capital has not been returned.

Keywords : PLTH, PLTS, PLTMH

PENDAHULUAN

Indonesia merupakan negara yang terdiri dari ribuan pulau yang membentang luas. Hal inilah yang menyebabkan penyebaran sistem tenaga listrik yang tidak merata di wilayah

dan memaksa pulau-pulau terpencil untuk memanfaatkan sumber daya yang disediakan oleh alam. Rasio elektrifikasi yang sangat rendah di Papua yaitu sebesar 45,93% yang didominasi oleh pembangkit listrik berbahan bakar minyak/solar

(96%) serta kebutuhan akan kebutuhan listrik yang meningkat (8% per tahun) menjadi permasalahan utama di Papua.

Kriteria dari Desa Mandiri Energi adalah desa yang mampu memenuhi minimal 60% dari total kebutuhan energinya (listrik dan bahan bakar) dengan memberdayakan potensi sumber daya setempat serta tumbuhnya kegiatan produktif untuk meningkatkan perekonomian desa sebagai dampak dari ketersediaan energi lokal. Melihat pada Kampung Dosay yang merupakan kampung yang masih belum memiliki aliran listrik yang memadai sedangkan memiliki sumber daya alam berupa aliran air sungai dan sinar radiasi matahari yang cukup melimpah maka penulis ingin mengangkat judul “Perancangan Pembangkit listrik Tenaga Hybrid (Photovoltaic-Mikrohidro) Menuju Desa Mandiri Energi di Kampung Dosay, Distrik Sentani Barat, Kabupaten Jayapura, Papua.

Berdasarkan uraian diatas dapat ditetapkan tujuan penelitian sebagai berikut : 1) Untuk merancang pembangkit listrik tenaga hybrid (*photovoltaic-mikrohidro*) untuk menuju desa mandiri energi Kampung Dosay; 2) Untuk menganalisis karakteristik daya keluaran berdasarkan hasil konfigurasi sistem yang optimal menggunakan aplikasi HOMER; 3) Untuk menentukan kapasitas PV yang optimal dalam memenuhi kebutuhan beban serta memaksimalkan potensi radiasi sinar matahari untuk PLTS dan aliran sungai untuk PLTMH dalam mencapai Rasio Elektrifikasi (RE), 4) Untuk mengetahui hasil kelayakan investasi dan kajian ekonomi dengan menggunakan metode Net Present Value (NPV), Profitability Index (PI), dan Discounted Payback Periode (DPP).

TINJAUAN PUSTAKA

Photovoltaic

Matahari adalah sumber energi utama yang memancarkan energi yang luar biasa besarnya ke permukaan bumi. Pada keadaan cuaca cerah, permukaan bumi menerima sekitar 1000 watt energi matahari per-meter persegi. Pemanfaatan energi surya di Indonesia telah diarahkan ke penyediaan listrik di pedesaan atau daerah-daerah yang letaknya sulit untuk dijangkau oleh instalasi listrik pedesaan. Energi radiasi matahari dirubah menjadi energi listrik dengan mempergunakan pembangkit listrik tenaga surya atau disebut juga teknologi photovoltaic yang terbuat dari bahan semi konduktor lainnya, yang disebut solar cell. Teknologi selain teknologi dari sumber energi yang tidak terbatas (cahaya matahari) juga terkenal ramah lingkungan sehingga memiliki daya guna yang tinggi.

Komponen Utama Photovoltaic

Photovoltaic modul

Modul Photovoltaic atau biasa disebut modul surya adalah perangkat yang terdiri dari bahan semikonduktor seperti silikon, galium arsenide dan kadmium telluride, dll yang mengubah sinar matahari langsung menjadi listrik. Ketika solar cell menyerap sinar matahari, elektron-elektron bebas dan lubang-lubang membuat sambungan positif/negatif, dan ketika dihubungkan dengan beban DC, maka arus listrik akan mengalir ke beban tersebut.



Gambar 1 Photovoltaic Modul

Sumber: Kurniawan - 2021

Solar Charge Controller

Solar Charge Controller adalah suatu alat kontrol yang berfungsi untuk mengatur tegangan dan arus yang dikeluarkan dari modul surya, melakukan proses pengisian battery, mencegah battery dari pengisian yang berlebihan, juga mengendalikan proses discharge. Kapasitas charge Controller ditentukan dengan rumus sebagai berikut :

$$\text{Kapasitas Charge Controller} = \frac{\text{Demand watt} \times \text{Safety Factor}}{\text{System Voltage}} \dots\dots\dots(1)$$



Gambar 2 Solar Charge Controller

Sumber: Kurniawan - 2021

Baterai

Baterai berfungsi untuk menyimpan sementara listrik yang dihasilkan modul surya, agar dapat digunakan pada saat energi matahari tidak ada. Untuk energi yang dapat ditampung oleh baterai ini sendiri dapat dicari menggunakan persamaan berikut :

$$E_{\text{bat}} = I_{\text{bat}} \times V_{\text{sistem}} \dots\dots\dots(2)$$



Gambar 3 Baterai

Sumber: Kurniawan - 2021

Inverter

Inverter yaitu alat untuk mengubah arus searah menjadi arus tidak searah, dan tegangannya disesuaikan dengan tegangan yang dibutuhkan. Kapasitas charge inverter ditentukan dengan rumus sebagai berikut :

$$\text{Kapasitas Inverter} = \text{Demand Watt} \times \text{safety factor} \dots\dots\dots(3)$$

Dimana safety factor (faktor keamanan) ditentukan sebesar 1,25.



Gambar 4 Inverter
Sumber: Kurniawan - 2021

Menghitung Area Array

Daya (wattpeak) yang dibangkitkan PLTS untuk memenuhi kebutuhan energy dari perhitungan area array maka besar daya yang di bangkitkan plts (wattpeak) dapat di perhitungkan dengan rumus sebagai berikut:

$$P_{\text{Wattpeak}} = \text{PV Area} \times \text{PSI} \times \eta_{\text{PV}} [\text{Watt}] \dots\dots\dots(4)$$

Dimana:

- PV Area = luas permukaan panel surya
- PSI = peak solar isolation adalah 1.000 W/m²
- η_{PV} = Efisiensi panel surya [%]

Performance Ratio (Ratio Kinerja)

Performance ratio (ratio kinerja) adalah ukuran kualitas PLTS yang independen dari lokasi dan karena itu sering di gambarkan sebagai faktor kualitas. performance ratio (PR) dinyatakan sebagai persen dan menggambarkan hubungan antara output energi aktual dan teoritis PLTS. Dengan demikian menunjukan proporsi energi yang benar benar tersedia untuk disalurkan ke jaringan setelah di kurangi kehilangan energi (misalnya kerugian termal dan kerugian konduksi) dan konsumsi energi untuk operasi.

$$PR = \frac{E_{\text{yield}}}{E_{\text{ideal}}} \dots\dots\dots(5)$$

Dimana:

- PR = Performance Ratio (%)
- E_{ideal} = Energi ideal (KWh/tahun)
- E_{yield} = Energi PLTS yang dihasilkan PLTS (KWh)

Energi yang Dihasilkan

Komponen PLTS tidak dapat beroperasi secara total 100% karena adanya rugi-rugi. Asumsi rugi-rugi pada komponen sebanyak 20%, maka besar energi yang dibangkitkan oleh panel surya bisa dihitung menggunakan rumus sebagai berikut:

$$60 \text{ panel surya} \times 260 \text{ Wp} = 15.600 \text{ Watt} = 15,6 \text{ Kw}$$

Dengan rugi-rugi 20 % maka daya keluaran dari PLTS yakni:

$$P_i = \text{daya yang digunakan} \times (100\% - 20\%) \dots\dots\dots(6)$$

Apabila menggunakan data radiasi matahari terendah maka energi yang dihasilkan panel surya dapat dihitung menggunakan rumus sebagai berikut:

$$P_{\text{out}} = P_i \times \text{radiasi matahari terendah} \dots\dots\dots(7)$$

Apabila menggunakan data radiasi matahari tertinggi maka energi yang dihasilkan panel surya dapat dihitung menggunakan rumus sebagai berikut:

$$P_{\text{out}} = P_i \times \text{radiasi matahari tertinggi} \dots\dots\dots(8)$$

Jika ingin menghitung energi yang dibangkitkan per tahun, maka data yang digunakan adalah nilai iradiasi rata-rata atau PSH

$$P_{\text{out}} = P_i \times \text{PSH} \dots\dots\dots(9)$$

Untuk energi per tahun (Energi yield) menggunakan rumus berikut yaitu:

$$E_y = P_{\text{out}} \times 365 \text{ hari} \dots\dots\dots(10)$$

Untuk Energi ideal yang dihasilkan PLTS menggunakan rumus berikut :

$$H_{\text{tilt}} = \text{PSH} \times 365 \text{ hari} \dots\dots\dots(11)$$

$$\text{Energi ideal} = P_{\text{max PV}} \times \text{Jumlah pv} \times H_{\text{tilt}} \dots\dots\dots(12)$$

Area array (PV area)

Seperti diketahui bahwa setiap kenaikan temperatur 1°C (dari temperatur standarnya) pada panel surya, maka hal tersebut akan mengakibatkan daya yang dihasilkan oleh panel surya akan berkurang sekitar 0,5%. Data temperatur maksimum untuk wilayah Kabupaten Sentani Barat pada tahun 2022 adalah sebesar 25,8°C. Data temperatur ini memperlihatkan bahwa ada peningkatan suhu sebesar 0,8°C dari suhu standar (25°C) yang diperlukan oleh panel surya.

Besarnya daya yang berkurang pada saat temperatur di sekitar panel surya mengalami kenaikan 0,8°C dari temperatur standarnya, diperhitungkan sebagai berikut :

$$P_{\text{saat t naik}} \text{ menjadi } t \text{ } ^\circ\text{C} = 0.5\% \times P_{\text{mmp}} \times \text{Kenaikan temperature} \dots\dots\dots(13)$$

Untuk daya keluaran maksimum panel surya pada saat temperaturnya naik 25,8°C, rumus perhitungkan menggunakan persamaan berikut :

$$P_{\text{mmp saat naik}} \text{ menjadi } 25,8^\circ\text{C} = P_{\text{mmp}} - P_{\text{saat t naik } ^\circ\text{C}} \dots\dots\dots(14)$$

Berdasarkan hasil perhitungan daya keluaran maksimum panel surya pada saat temperaturnya naik menjadi 25,8°C, Maka nilai TCF (Temperature Correction Factor) menggunakan rumus perhitungann dengan persamaan berikut :

$$TCF = \frac{P_{mmp \text{ saat naik menjadi } t^{\circ}C}}{P_{mmp}} \dots\dots\dots(15)$$

Untuk luas area array dihitung dengan persamaan :

$$Area \text{ array} = \frac{kWp}{\text{Efisiensi Modul Surya}} \dots\dots\dots(16)$$

Mikrohidro

Mikrohidro atau yang dimaksud dengan Pembangkit Listrik Tenaga Mikrohidro (PLTMH) adalah suatu pembangkit listrik skala kecil yang menggunakan tenaga air sebagai tenaga penggeraknya seperti, saluran irigasi, sungai atau air terjun alam dengan cara memanfaatkan tinggi terjunan (head) dan jumlah debit air.

Prinsip Kerja Mikrohidro

Prinsip dasar mikrohidro adalah memanfaatkan energi potensial yang dimiliki oleh aliran air pada jarak ketinggian tertentu dari tempat instalasi pembangkit listrik. Sebuah skema mikrohidro memerlukan dua hal yaitu, debit air dan ketinggian jatuh (head) untuk menghasilkan tenaga yang dapat dimanfaatkan. Daya yang masuk (Pgross) merupakan penjumlahan dari daya yang dihasilkan (Pnet) ditambah dengan faktor kehilangan energi (loss) dalam bentuk suara atau panas. Daya yang dihasilkan merupakan perkalian dari daya yang masuk dikalikan dengan efisiensi konversi.

Pengukuran Debit air

a) Hitung kedalaman rata-rata, menggunakan rumus:

$$Drerata = \frac{D1+D2+D3\dots\dots+Dn}{n} \dots\dots\dots(17)$$

Dimana :

- Drerata = Kedalaman rata-rata (m)
- D = Kedalaman sungai (m)
- n = Langkah percobaan

b) Luas diperoleh dengan mengalikan kedalaman rata-rata dengan lebar sungai, yaitu :

$$A = L_{rata-rata} \times D_{rata-rata} \dots\dots\dots(18)$$

Dimana:

- A = Luas penampang basah (m²)
- L_{rerata} = Lebar sungai rata-rata (m)
- D_{rerata} = Kedalaman rata-rata (m)

c) Luas penampang sungai cara perhitungan keseluruhan luas penampang dirumuskan seperti berikut :

$$A1 (m^2) = L1.D1$$

$$A2 (m^2) = L2.D2$$

$$A \text{ Keseluruhan (m}^2) = \frac{L1.D1+L2.D2+L3.D3\dots\dots+Ln.Dn}{(n)} \dots\dots\dots(19)$$

Dimana :

- A = Luas penampang saluran
- L = Lebar
- D = Kedalaman

d) Mengukur lebar rerata dengan menggunakan rumus yaitu:

$$L_{rerata} = \frac{(A1-A2) + (B1-B2)}{n} \dots\dots\dots(20)$$

Dimana :

- L_{rerata} = Lebar rerata
- A1-A2 = Titik patok A
- B1-B2 = Titik patok B
- n = jumlah patok n

Pengukuran Kecepatan Arus dengan Pelampung

Dianjurkan paling tidak pengukuran dilakukan 3 kali atau lebih, kemudian hasilnya dirata-ratakan.

$$Q = v \times A \times c \dots\dots\dots(21)$$

Dimana:

- Q : Debit air (m³/detik)
- v : Kecepatan air (m/detik)
- A : Luas penampang basah (m²)
- c : Faktor koreksi 0,75 untuk sungai dengan dasar yang kasar dan 0,85 untuk sungai dengan dasar yang halus

Kecepatan aliran air sungai (v) diperoleh dengan membagi jarak sungai (s) dengan waktu tempuh rata-rata dari pelampung tersebut, yaitu :

$$V_{rerata} = \frac{S}{t_{rerata}} \times \text{Koefesien modifikasi pelampung} \dots\dots\dots(22)$$

Dimana :

- V_{rerata} = Kecepatan rata-rata (m/det)
- S = Panjang sungai (m)
- t_{rerata} = Waktu rata-rata (detik/s)
- Koefesien modifikasi pelampung = 0.85

Tenaga air yang menggerakkan turbin air akan memutar poros as mesin yang selanjutnya akan memutar generator untuk menghasilkan energi listrik. Rumusan umum dari daya yang dihasilkan dalam semua pembangkit tenaga air adalah sebagai berikut:

$$P_{in} = 9,8 \times Q \times H_n \dots\dots\dots(23)$$

Potensi menggunakan turbin :

$$P = 9,8 \times Q \times H_n \times \eta_T \dots\dots\dots(24)$$

Potensi menggunakan generator :

$$P_{out} = 9,8 \times Q \times H_n \times \eta_T \times \eta_G \dots\dots\dots(25)$$

Dimana :

- P = Daya yang dihasilkan (Watt)
- g = gaya gravitasi (9,8 m/detik²)
- H = Ketinggian jatuh air maksimum (m)
- Q = debit air (m³/detik)
- η_T = Effisiensi dari turbin
- η_g = Effisiensi dari generator

Pengukuran Beda Tinggi / High

Gradien skematik rata-rata dirumuskan sebagai berikut :

$$H_{\text{rerata}} = H_1 + H_2 + H_3 + \dots + (H_n) \dots\dots\dots(26)$$

Dimana :

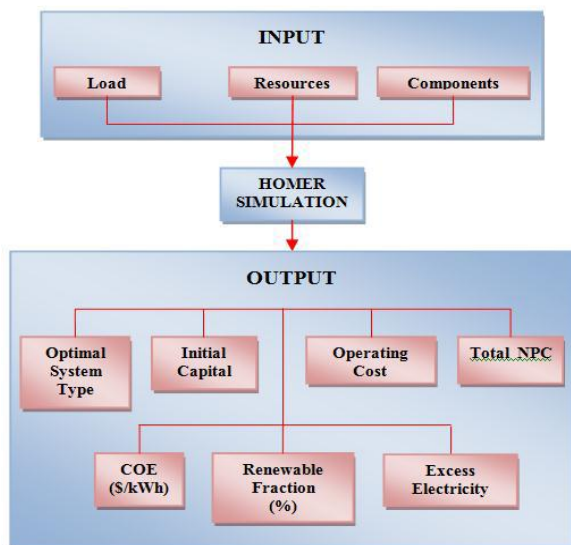
- H₁ = Elevasi titik tertinggi (m)
- H_n = Elevasi titik terendah (m)
- H_{rerata} = Tinggi jatuh air (m)

Pembangkit Listrik Tenaga Hybrid

Pembangkit Listrik Tenaga Hibrid (PLTH) didefinisikan sebagai suatu sistem pembangkit tenaga listrik yang menggabungkan dua atau lebih pembangkit dengan sumber energi yang berbeda, umumnya digunakan untuk isolated grid, sehingga diperoleh sinergi yang memberikan keuntungan ekonomis maupun teknis.

HOMER (Hybrid Optimization Model for Energy Renewable)

HOMER merupakan suatu perangkat lunak (program) simulasi yang mengoptimalkan sistem pembangkit tenaga listrik, baik off-grid (stand-alone) maupun grid-connected yang dapat terdiri atas kombinasi photovoltaic, mikrohidro, battery dan kombinasi sumber energi baru dan terbarukan lainnya serta untuk melayani beban listrik maupun beban thermal.



Gambar 5 Arsitektur Simulasi dan Optimasi HOMER

Sumber: Kurniasih dan Nazir - 2015

Metode NPV, PI, dan DPP

Metode Net Present Value (NPV)

Net Present Value atau nilai bersih sekarang merupakan perbandingan antara PV kas bersih (PV of Proceed) dengan PV Investor (Capital Outlays) selama umur investasi.

$$NPV = \sum_{i=0}^n \frac{CF_t - IO}{(1-k)^t}$$

$$NPV = \sum_{(n)} CF_t (PVIF_{ks}) - IO \dots\dots\dots(27)$$

Keterangan :

- CFT = arus kas bebas tahunan dalam periode waktu
- k = suku bunga diskon yang sesuai
- IO = pengeluaran awal tunai
- n = jangka waktu proyek yang diharapkan

Profitability Index (PI)

Profitability index merupakan rasio aktivitas dari jumlah nilai sekarang penerimaan bersih dengan nilai sekarang pengeluaran investasi umur investasi.

$$PI = \frac{\sum_{i=0}^n \frac{CF_t}{(1-k)^t}}{IO} \dots\dots\dots (28)$$

Keterangan:

- CFT = arus kas bebas tahunan dalam periode waktu
- k = kebutuhan tarif hasil atau biaya modal
- IO = pengeluaran awal tunai
- n = jangka waktu proyek yang diharapkan
- Pi = Indeks profitabilitas

Discounted Payback period (DPP)

DPP adalah suatu periode atau jangka waktu tertentu yang diperlukan untuk menutup kembali pengeluaran yang telah dikeluarkan dengan menggunakan aliran kas.

$$\text{Tahun terakhir ACC PV Negatif} + \frac{\text{ACC PV tahun terakhir negatif}}{\text{PV tahun terakhir negatif}} \dots\dots\dots(29)$$

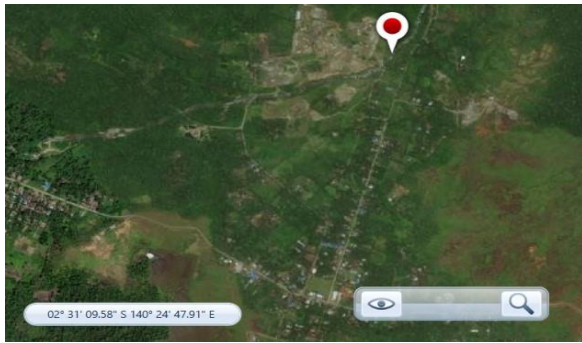
METODELOGI PENELITIAN

Waktu Penelitian

Waktu penelitian yang dibutuhkan mulai dari pengambilan data serta penulisan proposal penelitian ini dilakukan dari bulan April 2022 s/d September 2022.

Lokasi Penelitian

Lokasi penelitian dan pengumpulan data bertempat pada Kampung Dosay, Distrik Sentani Barat, Kabupaten Jayapura, Papua.



Gambar 6 Lokasi Penelitian

Sumber: Aplikasi Homer Pro x64 Version 3.14.2 - 2022

Bahan Penelitian

Berikut merupakan bahan-bahan yang digunakan pada penelitian tugas akhir ini yaitu :

- 1) Data primer adalah data yang diperoleh langsung dari objek data. Berupa data pengukuran langsung debit air, data kelistrikan kampung, data jumlah penduduk kampung, dan bangunan yang ada di Kampung Dosay.
- 2) Data sekunder adalah data yang diperoleh dengan membaca dan mempelajari referensi yang berkaitan dengan penelitian yang dilakukan.
- 3) Pengolahan data menggunakan aplikasi HOMER.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Potensi Energi Terbarukan Kampung Dosay

Hasil data potensi PV

Intensitas radiasi matahari dalam HOMER adalah dicapai dengan menentukan garis lintang dan garis bujur suatu daerah. lintang dan bujur ini digunakan untuk menghasilkan intensitas radiasi matahari setiap hari berdasarkan bulanan rata-rata. Kampung Dosay yang terletak di 2°31.0' LS dan 140°24.3' BT maka intensitas matahari radiasi dapat dilihat pada Tabel 1 dengan rata-rata 4.97 kWh/m²/hari.

Tabel 1 Radiasi Matahari di Kampung Dosay

Bulan	Radiasi Harian (kWh/m ² /hari)	Suhu Rata-Rata (°C)
Januari	5.150	25.350
Februari	4.950	25.240
Maret	5.020	25.320
April	4.970	25.420
Mei	4.910	25.610
Juni	4.760	25.360
Juli	4.760	25.040
Agustus	4.970	25.160
September	5.130	25.570
Oktober	5.140	25.790

November	4.990	25.770
Desember	4.900	25.620
Rata-Rata	4.97	25.44

Sumber: Aplikasi Homer Pro x64 Version 3.14.2 - 2022

Hasil data potensi microhidro

Di lokasi penelitian mengandung potensi tenaga listrik yang dapat dimanfaatkan untuk PLTMH berdasarkan hasil pengukuran sebagai berikut:

Tabel 2 Hasil Pengukuran Ketinggian Potensi Air yang Terukur

No.	Nama Patok	Syymbol	Hasil
1	H ₀ -H ₁	Hn	163 cm
2	H ₂ -H ₃	Hn	116 cm
3	H ₄ -H ₅	Hn	102 cm
4	H ₆ -H ₇	Hn	175 cm
5	H ₈ -H ₉	Hn	183 cm

Sumber: data yang diolah - 2022

Tabel 3 Pengukuran Kedalaman Sungai dari A₁ dan A₂

No.	Pengukuran Kedalaman	
1	D1	23 cm
2	D2	29 cm
3	D3	46 cm
4	D4	60 cm
5	D5	51 cm

Sumber: data yang diolah - 2022

Tabel 4 Pengukuran Kedalaman Sungai dari B₁ dan B₂

No.	Pengukuran Kedalaman	
1	D1	20 cm
2	D2	43 cm
3	D3	60 cm
4	D4	75 cm
5	D5	102 cm

Sumber: data yang diolah - 2022

Tabel 5 Pengukuran Kecepatan Air

No.	Pengukuran Kecepatan (V1-V5)	Simbol	Hasil
1	Pengukuran I (V1)	V	25,32 detik
2	Pengukuran II (V2)	V	22,42 detik
3	Pengukuran III (V3)	V	21,77 detik
4	Pengukuran IV (V4)	V	23,30 detik
5	Pengukuran V (V5)	V	24,10 detik

Sumber: data yang diolah - 2022

Performance ratio

Performance ratio adalah parameter kualitas sistem ditinjau dari energi yang dihasilkan dalam setahun. Kenyataannya kualitas sistem tidak pernah mencapai 100%, dikarenakan oleh faktor internal seperti komponen dan eksternal seperti temperatur. Sistem pembangkitan dikatakan layak apabila nilai PR berkisar 70%- 90%. Perhitungan performance ratio dari sistem PLTS dihitung menggunakan rumus (11) sebagai berikut:

$$\begin{aligned} H_{\text{tilt}} &= \text{PSH} \times 365 \text{ hari} \\ &= 4,97 \text{ kWh/m}^2 \times 365 \text{ hari} \\ &= 1.814,05 \text{ kWh/tahun} \end{aligned}$$

Sehingga rata-rata radiasi matahari dalam setahun adalah 1.814,05 kWh/tahun. Untuk perhitungan energi idealnya menggunakan rumus (12) sebagai berikut :

$$\begin{aligned} \text{Energi Ideal} &= 260 \times 60 \times 1.814,05 \text{ kWh/tahun} \\ &= 28.299,180 \text{ kWh/tahun} \end{aligned}$$

Maka diperoleh performance ratio dapat dihitung dengan rumus (5) berikut:

$$\begin{aligned} PR &= \frac{E_{\text{yield}}}{E_{\text{ideal}}} \\ &= \frac{22.639,344}{28.299,180} \\ &= 0,8 \times 100\% \\ &= 80\% \end{aligned}$$

Dari perhitungan diperoleh nilai performance ratio sebesar 80%. Maka sistem PLTS layak untuk beroperasi.

Tabel 6 Energi yang Dihasilkan dan Performance Ratio

Parameter	Hasil
(Energi yield)	22.639,344 kWh/tahun
Energi Ideal	28.299,180 kWh/tahun
Performance ratio	80%

Sumber: data yang diolah - 2022

Dari hasil perhitungan didapatkan hasil Performance ratio sebesar 80% sedangkan energi ideal yang didapatkan dari hasil perhitungan sebesar 28.299,180 kWh/tahun. Sehingga energi yang dihasilkan PLTS dalam setahun sebesar 22.639,344 kWh atau sekitar 80% dari energi ideal PLTS.

Debit sungai (Q)

Debit air sungai (Q) adalah perhitungan dari lebar, kedalaman dan kecepatan aliran sungai rerata dengan menggunakan metode penampang rerata dengan menggunakan persamaan (21) sebagai berikut :

$$(Rms) Q = v \times A \times c$$

Dimana :

$$\begin{aligned} \text{Kecepatan rerata (v)} &= 0,556 \text{ m/det.} \\ \text{Lebar dan kedalaman (A)} &= 7,7877 \text{ m}^2 \\ \text{Faktor koreksi (c)} &= 0,75 \text{ untuk} \\ &\text{sungai dengan dasar yang kasar dan 0,85 untuk} \\ &\text{sungai dengan dasar yang halus} \\ \text{Sehingga didapatkan :} \\ \text{Debit air (Q)} &= 0,556 \text{ m/det} \times 7,7877 \text{ m}^2 \times 0,75 \\ &= 3,247 \text{ m}^3/\text{det} \end{aligned}$$

Sampel dan populasi hasil pengukuran

Hasil identifikasi potensi air sungai Dansari di kampung Dosay Distrik Sentani Barat (Moi), dan hasil perhitungan pengukuran adalah sebagai berikut :

Tabel 7 Data Hasil Pengukuran Sungai Dansari Kampung Dosay

No.	Nama	Data Hasil	
1	Lokasi	Dosay	
2	Total Head (m)	7,39 m	
3	Kedalaman Sungai Rerata D _{rerata} (m)	A	1,045 m
		B	1,5 m
		D _{rerata}	1,2725 m
	Lebar Sungai Rerata L _{rerata} (m)	A ₁ - A ₂	14,7 m
		B ₁ - B ₂	15,9 m
		L _{rerata}	15,3 m
4	Luas Penampang Sungai Rerata A _{rerata} (m ²)	7,7877 m ²	
5	Koefisien Modifikasi (pengubahan) Pelampung	0,85	
6	Waktu Tempuh Rerata t _{rerata} (det)	23,38 detik	
7	Kecepatan rerata V _{rerata} (m/det)	0,556 m	
8	Debit Sungai (m ³ /det)	3,247 m ³ /det	

Sumber: data yang diolah - 2022

Berdasarkan data-data potensi air diatas, secara teoritis mampu menghasilkan daya listrik untuk PLTMH dengan menggunakan persamaan (23), (24), dan (25) sebagai berikut:

$$\begin{aligned} \text{➤ (Rms) } P_{\text{in}} &= 9,8 \times Q \times H_n \\ &= 9,8 \times 3,247 \text{ m}^3/\text{det} \times 7,39 \text{ m} \\ &= 235,154 \text{ kW} \end{aligned}$$

Daya Listrik yang dihasilkan ke Turbin :

$$\begin{aligned} \text{➤ Pinput} &= 9,8 \times Q \times H_n \times \eta_T \\ &= 9,8 \times 3,247 \text{ m}^3/\text{det} \times 7,39 \text{ m} \times 0,75 \\ &= 176,365 \text{ kW} \end{aligned}$$

Daya Listrik yang dihasilkan ke Generator :

$$\begin{aligned}
 P_{\text{output}} &= 9,8 \times Q \times H_n \times \eta_T \times \eta_G \\
 &= 9,8 \times 3,247 \text{ m}^3/\text{det} \times 7,39 \text{ m} \times 0,75 \times 0,85 \\
 &= 149,910 \text{ kW}
 \end{aligned}$$

Energi listrik yang dihasilkan selama satu hari menggunakan persamaan sebagai berikut :

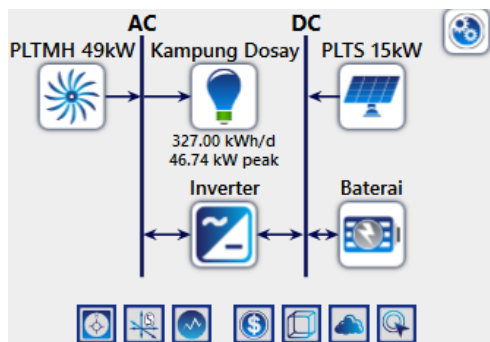
$$\begin{aligned}
 (Rms) E &= P_{\text{out}} \times t \\
 \text{Dimana :} \\
 t &= \text{waktu pemakaian daya} = 24 \text{ jam}
 \end{aligned}$$

Sehingga didapatkan :

$$\begin{aligned}
 E &= 149,910 \times 24 \text{ jam} \\
 &= 3.597,84 \text{ kWh}
 \end{aligned}$$

Daya listrik yang dibangkitkan dan energi listrik yang dihasilkan dari Kali Dosay dapat dimanfaatkan secara maksimal untuk seluruh masyarakat di Kampung Dosay dengan mendesain pemakaian daya dan waktu pemakain daya.

Hasil Simulasi Homer



Gambar 7 Tampilan Desain PLTH di Homer
Sumber: data yang diolah - 2022

Hasil simulasi tersebut memberikan beberapa konfigurasi yang dapat mensuplai beban secara terus menerus dalam satu tahun. Hasilnya disajikan pada Gambar 8 dibawah ini. Konfigurasi sistem yang dihasilkan didasarkan pada masalah ekonomi sistem yaitu NPC. Hasil simulasi menempatkan sistem yang memiliki NPC terkecil dianggap optimal untuk memenuhi kebutuhan beban.

Architecture							Cost			
PLTS 15kW (kW)	PLTS 15kW-MPPT (kW)	Baterai	PLTMH 49kW (kW)	Inverter (kW)	Dispatch	NPC (Rp)	COE (Rp)	Operating cost (Rp/yr)	Initial capital (Rp)	
200	200	5	21,1	240	CC	Rp4658	Rp3,015	Rp40,0M	Rp4,138	

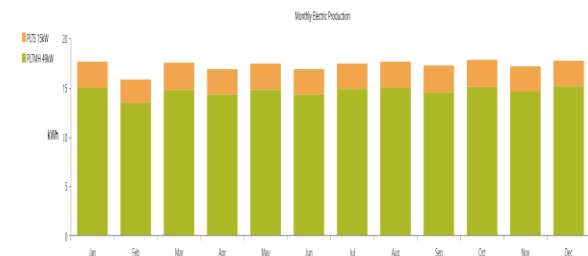
Gambar 8 Hasil Konfigurasi Sistem Optimal Homer
Sumber: data yang diolah - 2022

Berdasarkan Gambar 8 hasil Konfigurasi pembangkit listrik tenaga hibrid yang paling optimal berdasarkan nilai Net Present Cost (NPC) terendah terdiri dari PLTS 20 kW, PLTMH 49 kW, baterai sebanyak sebagai 105 dan inverter pada 24 kW dengan total NPC sebesar Rp.4.651.357.000, biaya pembangkitan listrik (Cost of energy) sebesar Rp.3.014,70. Energi listrik yang dihasilkan oleh sistem ini dalam setahun adalah 207.207 kWh.

Production	kWh/yr	%	Consumption	kWh/yr	%
Fronius Symo	31,553	15.2	AC Primary Load	119,349	100
Hydro	175,654	84.8	DC Primary Load	0	0
Total	207,207	100	Deferrable Load	0	0
			Total	119,349	100

Gambar 9 Tabel Output Produksi Energi PLTH
Sumber: data yang diolah - 2022

Berdasarkan Gambar 9 energy listrik yang dihasilkan dari PLTMH mendominasi energi listrik yang dibutuhkan oleh beban. PLTMH menghasilkan energi listrik sebesar 175.654 kWh/tahun, PLTS sebesar 31.553 kWh/tahun. Penetrasi energi terbarukan sistem ini yang berasal dari PLTMH dan PLTS masing-masing sebesar 84.8% dan 15.2%. Selain itu pada Gambar 10 terdapat hasil energi rata-rata perbulan yang dapat dihasilkan oleh konfigurasi sistem optimal PLTH.

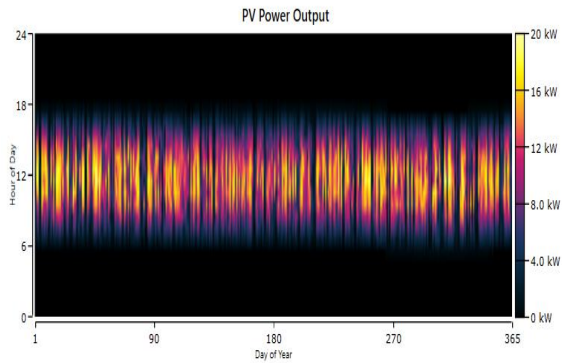


Gambar 10 Grafik Output Energi Rata-Rata Per Bulan PLTH

Sumber: data yang diolah - 2022

Energi listrik yang dihasilkan PLTS

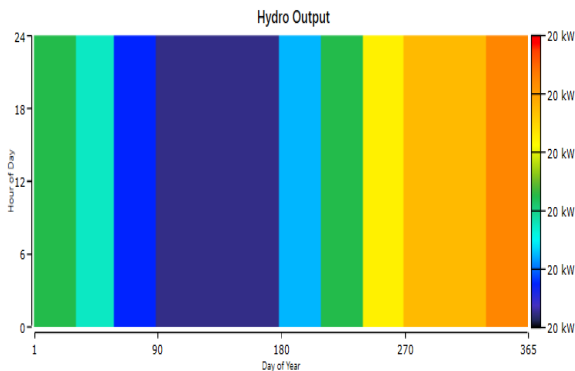
PLTS pada sistem ini dapat menghasilkan energi sebesar 31.553 kWh/tahun atau 15,2% dari total produksi energi tahunan. Energi rata-rata yang dapat dibangkitkan adalah 86.4 kWh/day, rata-rata keluaran 3.60 kW dan maksimum 19.4 kW. Gambar 11 menunjukkan rata-rata produksi bulanan. PLTS ini memiliki faktor kapasitas sebesar 26.4% dengan levelized cost sebesar 5.571 Rp/kWh.



Gambar 11 Grafik Profil Energi Bulanan PLTS
 Sumber: data yang diolah - 2022

Energi listrik yang dihasilkan PLTMH

PLTMH yang terpasang memiliki kapasitas 49 kW, dengan debit rencana 3,247 m³/s, menghasilkan energi listrik sebesar 175.654 kWh/tahun. Energi rata-rata yang dapat dihasilkan adalah 20.1 kW dan daya maksimum yang dapat dibangkitkan adalah 20.3 kW. Memiliki levelized cost 995 Rp/kWh. Gambar dibawah ini menunjukkan daya yang dihasilkan dalam setahun oleh PLTMH.



Gambar 12 Grafik Profil Energi Bulanan PLTMH
 Sumber: data yang diolah - 2022

Analisis Kelayakan Investasi Dan Kajian Ekonomi

Parameter biaya yang diinput pada perangkat lunak HOMER untuk sistem PV, mikrohidro, baterai dan konverter terdiri dari biaya modal, biaya pengganti komponen, dan operasional dan manajemen (O&M) dengan rata-rata Lifetime 25 tahun.

Tabel 8 Rincian Biaya Komponen PLTH

Komponen	Modal	Biaya Pengganti	O&M
PLTS 20 kW	Rp. 2.014.000.000	-	Rp.20.000.000
PLTMH 49 kW	Rp. 2.000.000.000	-	Rp.20.000.000
Baterai 105 buah	Rp. 726.320.000	Rp.100.000.000	Rp.50.000.000
Inverter 24 kW	Rp. 478.000.000	Rp.100.000.000	-

Sumber: data yang diolah - 2022

Berdasarkan tabel 8 dapat diketahui bahwa untuk membangun sebuah PLTS 20 kW dengan 105 baterai dan Inverter 24 kW memerlukan biaya asumsi sebesar Rp.2.014.000.000, sedangkan untuk membangun sebuah PLTMH memerlukan biaya asumsi sebesar Rp.2.000.000.000.

Perhitungan menggunakan metode NPV

Kesimpulan : Melihat hasil perhitungan NPV memperoleh hasil dengan NPV positif, maka investasi PLTMH 49 kW dapat diterima dengan keuntungan diperkirakan pada tahun ke 22 setelah pembangunan.

Kesimpulan : Melihat hasil perhitungan NPV memperoleh hasil dengan NPV negatif, maka investasi PLTS 15 kW tidak layak untuk dilanjutkan.

Perhitungan menggunakan metode PI

➤ Perhitungan Profitabilitas Index PLTMH 49 kW

$$PI = \frac{Rp2,007,129,732.07}{Rp2,006,125,000.00} \frac{Rp2,016,989,847.59}{Rp2,006,125,000.00} = 1.005415838$$

$\frac{120.f}{p}$ Kesimpulan : Berdasarkan perhitungan diatas, dapat kita lihat nilai PI lebih besar (>) dari 1 maka investasi diterima, sehingga investasi PLTMH 49 kW layak untuk dilanjutkan.

➤ Perhitungan Profitabilitas Index PLTS 15 kW

$$PI = \frac{Rp374,933,904.47}{Rp2,014,000,000.00} = 0.186163806$$

$\frac{120.f}{p}$ Kesimpulan : Berdasarkan perhitungan diatas, dapat kita lihat nilai PI lebih kecil (<) dari 1 maka investasi tidak diterima, sehingga investasi PLTS 15 kW tidak layak untuk dilanjutkan.

Perhitungan Menggunakan Metode DPP

Discounted Payback period merupakan rasio antara initial cash investment dan cash flow yang hasilnya merupakan satuan waktu.

$$\text{Tahun terakhir ACC PV Negatif} + \frac{\text{ACC PV tahun terakhir negatif}}{\text{PV tahun terakhir negatif}}$$

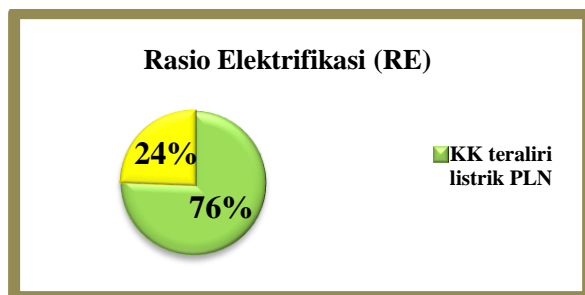
- Perhitungan Discounted Payback period PLTMH 49 kW
- $$\text{DPP} = \frac{\text{Rp2,824,807}}{\text{Rp28,248,069}} = 22 + 0,1 = 22,1 \text{ Tahun}$$

$\frac{120.f}{p}$ - Kesimpulan : Berdasarkan perhitungan diatas, dapat kita lihat bahwa PLTMH 49 kW memerlukan waktu 22,1 tahun untuk kembali modal.

- Perhitungan Discounted Payback period PLTS 15 kW
- $$\text{DPP} = 25 \text{ tahun}$$
- $\frac{120.f}{p}$ - Kesimpulan : Berdasarkan perhitungan dapat kita lihat bahwa PLTS 15 kW hingga tahun ke 25 masih mengalami minus, sehingga diperkirakan belum mendapatkan balik modal hingga tahun ke 25.

Prediksi Kebutuhan Beban Berdasarkan Jumlah Penduduk dan Capaian Rasio Elektrifikasi (RE)

Maka peneliti disini memperhitungkan pada tahun 2032 jumlah penduduk sebesar 1.250 jiwa dengan kemungkinan jumlah kepala keluarga sebesar 391 dengan besar laju pertumbuhan penduduk kampung dosay pada tahun 2022-2032 sebesar 2,05%. Daya yang di hasilkan PLTH dalam setahun adalah 207.207 kWh . Maka hasil optimisasi energi terbarukan untuk pembangkit listrik terbarukan, jumlah energi listrik yang dihasilkan oleh model sistem simulasi homer dan perhitungan manual dari data dilapangan ini dapat memenuhi kebutuhann energi listrik dalam mencapai rasio elektrifikasi (RE) dan menuju Desa Mandiri Energi (DME) di Kampung Dosay.



Gambar 13 Grafik Rasio Elektrifikasi (RE) Kampung Dosay

Sumber: data yang diolah - 2022

KESIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian yang dilakukan terkait dengan pengukuran, perhitungan, simulasi dan analisa data di atas, maka penulis dapat menarik kesimpulan sebagai berikut :

1. Konfigurasi pembangkit listrik hibrid yang paling optimal berdasarkan nilai Net Present Cost (NPC) terdiri dari PLTS 15 kW, PLTMH 49 kW, 105 baterai dan inverter 24 kW dengan total NPC sebesar Rp.4.651.357.000, biaya pembangkitan listrik (Cost of energy) sebesar Rp.3.014,70. Energi listrik yang dihasilkan oleh sistem ini dalam setahun adalah 207.207 kWh.
2. PLTMH menghasilkan energi listrik sebesar 175.654 kWh/tahun, PLTS sebesar 31.553 kWh/tahun. Penetrasi energi terbarukan sistem ini yang berasal dari PLTMH dan PLTS masing-masing sebesar 84,8% dan 15,2%.
3. Maka hasil energi listrik yang dihasilkan menggunakan model sistem simulasi homer dan perhitungan manual dari data dilapangan ini dapat memenuhi kebutuhan energi listrik dalam mencapai rasio elektrifikasi (RE) dan menuju Desa Mandiri Energi (DME) di Kampung Dosay.
4. Kemudian secara asumsi kelayakan investasi dan kajian ekonomi menggunakan metode NPV, PI, dan DPP PLTMH dapat diterima, namun untuk PLTS tidak dapat diterima.

SARAN

Berdasarkan hasil pembahasan dan kesimpulan yang telah ada, maka saran yang dapat diberikan terkait hasil penelitian ini, yaitu sebagai berikut :

1. Untuk masyarakat setempat sekiranya dapat mengembangkan PLTH Kampung Dosay karena PLTH ini sangat bermanfaat bagi keberlangsungan hidup masyarakat setempat dengan memanfaatkan sumber daya alam yang ada disekitar.
2. Untuk peneliti selanjutnya disarankan untuk melihat data intensitas radiasi matahari dan debit air setiap bulan maupun setiap tahun agar mendapatkan data yang lebih lengkap, serta melihat bagaimana pengembangan pembangkit listrik tersebut agar dapat konsisten memberikan kontribusi kemasyarakat dan bisa lebih baik lagi kedepannya.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada ayahanda Kasmidi dan ibunda tercinta Sutrisni atas dukungan yang telah diberikan selama ini, baik dalam bentuk moril maupun materi, maaf telah menjadi beban yang begitu berat selama ini. Teriring do'a selalu penulis panjatkan kepada Allah SWT agar senantiasa dalam lindungan-Nya. Semoga kita semua selalu dalam lindungan Allah SWT serta senantiasa mendapatkan Ridha-Nya baik di dunia maupun di akhirat kelak. Aamiin yaarabbal'alamin.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Al Bahar, A. K., & Maulana, A. T. (2018). Perencanaan dan Simulasi Sistem PLTS Off-grid Untuk Penerangan Gedung Fakultas Teknik UNKRIS. *JURNAL ELEKTRO*, 6(2).
- [2] Astawa, I. K. W., Giriantari, I. A. D., & Sukerayasa, I. W. (2021). Studi Ekonomis Penggunaan PLTS Rooftop 3 kWp *Frameless With On-Grid System* Pada Pelanggan R/4400 VA. *Jurnal Spektrum* , 8(4).
- [3] Atmaja, L. S. (2008). Teori dan Praktik Manajemen Keuangan. Yogyakarta: Andi.
- [4] Azizah, A. N., & Purbawanto, S. (2021, April). Perencanaan Pembangkit Listrik Tenaga Hibrid (PV dan Mikrohidro) Terhubung Grid (Studi Kasus : Desa Merden, Kecamatan Padureso, Kebumen). *Jurnal Listrik, Instrumentasi dan Elektronika Terapan*, 2(1), 6-10.
- [5] Chamdareno, P. G., & Hilal, H. (2018). Analisa Pembangkit Listrik Tenaga Hybrid PLTD-PLTS di Pulau Tunda Serang Banten. *RESISTOR (Elektronika Kendali Telekomunikasi Tenaga Listrik Komputer)*, 1(1), 35-42.
- [6] ESDM. (2015). Rencana Usaha Penyediaan Tenaga Listrik PT. PLN (PERSERO) 2015-2024. Jakarta: Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral.
- [7] Hani, S., Santoso, G., & Firmansyah, M. W. (2021). Pembuatan Pembangkit Listrik Tenaga Hybrid Solar Cell dan Pico Hydro di Dusun Wukirsari. *Journal of Appropriate Technology for Community Services*, 2(1), 15-23.
- [8] Hidayat, F., Winardi, B., & Nugroho, A. (2019). Analisis Ekonomi Perencanaan Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) di Departemen Teknik Elektro Universitas Diponegoro. *Transient*, 7(4), 875.
- [9] Juwito, A. F., Pramonohadi, S., & Haryono, T. (2012). Optimalisasi energi terbarukan pada pembangkit tenaga listrik dalam menghadapi desa mandiri energi di Margajaya. *Semesta Teknika*, 15(1).
- [10] Kanata, Sabhan. (2015). Kajian Ekonomis Pembangkit Hybrid Renewable Energi Menuju Desa Mandiri Energi di Kabupaten Bone-Bolango. *Jurnal Rekayasa Eletrika*, 11(3), 114-122.
- [11] Kariongan, J., Harun, N., Suyuti, A., & Humena, S. (2019, Februari). Optimasi Pembangkit Energi Terbarukan Untuk Meningkatkan Rasio Listrik di Kabupaten Borme Provinsi Papua. *Jurnal Teknik dan Ilmu Terapan ARPN*, 939-946.
- [12] Kriswanto, K. (2011). Analisis Strategi Bisnis NPV, IRR, PI dan DPB pada Golden Restaurant Jakarta. *Binus Business Review*, 2(1), 274-285.
- [13] Kurniasih, N., & Nazir, R. (2015). Analisis Mode Sistem Pembangkit Listrik Tenaga Hibrid Microhydro-Photovoltaic Array Menggunakan Homer (Studi Kasus: Kampung Bayang Janiah, Kabupaten Pesisir Selatan). *Jurnal Nasional Teknik Elektro*, 4(1), 30-40.
- [14] Kurniawan, Arief. 2021. Perancangan Pembangkit Listrik Tenaga Hybrid (Photovoltaic-Mikrohidro) Menuju Desa Mandiri Energi. Tugas Akhir Program Studi Teknik Elektro Fakultas Teknik. Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara.
- [15] Naryoto, P., & Rahardjo, B. (2014). Analisis Studi Kelayakan Pendirian Usaha "Minuman Segar Jus Buah dan Pop Ice" di Ciledug Ditinjau dari Capital Budgeting Periode Tahun 2014-2018. *Jurnal Ekonomika dan Manajemen*, 3(2).