

Perencanaan Pembangkit Listrik Tenaga Surya Untuk Energi Alternatif Pada Tambak Udang Sebagai Solusi Keterbatasan Jaringan Listrik PLN di Daerah Pesisir Pantai

Purwanto¹, Deria Pravitasari², Andriyatna Agung Kurniawan³

^{1,2,3} Universitas Tidar

E-mail: purwantojr46@students.untidar.ac.id¹, deria.pravitasari@untidar.ac.id²,
andriyatna.agung.kurniawan@untidar.ac.id³

Article History:

Received: 20 Desember 2023

Revised: 01 Januari 2024

Accepted: 05 Januari 2024

Keywords: *PLTS Off Grid, EBT, monocrystalline, payback periode*

Abstract: *Dalam budidaya tambak udang perlu adanya keseimbangan ekosistem perairan, diharapkan dapat menciptakan lingkungan yang nyaman dan aman bagi udang vanamei yang sesuai pada ekosistem aslinya. Penggunaan kincir air dapat menciptakan ekosistem perairan yang baik pada tambak udang, sehingga perlu adanya kestabilan penggunaan kincir air untuk meningkatkan hasil produksi udang. Kebutuhan energi listrik pada tambak budidaya udang vanamei di pesisir pantai Kebumen yang mengalami keterbatasan jaringan listrik PLN, sehingga sampai saat ini disuplai menggunakan Genset. Dapat diketahui bahwa program pembauran EBT di Indonesia dipercepat dan Kota Kebumen memiliki potensi iradiasi yang dapat dimanfaatkan, maka dari itu dilakukan perencanaan PLTS dengan sistem Off-Grid untuk energi alternatif pada tambak udang. Dengan adanya bauran EBT untuk memproduksi energi listrik, diharapkan menjadi salah satu upaya dalam mengurangi emisi gas CO² yang dihasilkan oleh pembangkit listrik berbahan bakar fosil. Perencanaan berdasar pada standar studi kelayakan PLTS Kemen-ESDM 2017 dan instalasi pemasangan berdasar PUIL 2011. Total kebutuhan energi harian pada tambak udang sebesar 30,64 kWh, dari hasil perencanaan komponen utama yang digunakan berupa modul surya monocrystalline 450 Wp sebanyak 18 unit, inverter 2000 watt dan SCC 250 A sebanyak 1 unit, jumlah baterai yang dibutuhkan sebanyak 32 unit dengan spesifikasi baterai 12 V 200 Ah. Berdasarkan hasil perhitungan, investasi awal sebesar Rp 206.316.000 dengan produksi energi listrik 12.313,82 kWh/tahun, payback period akan kembali pada antara tahun ke-15 dan tahun ke-16 dan penurunan gas CO² sebesar 43,73 ton CO² per tahun.*

PENDAHULUAN

Indonesia memiliki potensi Energi Baru Terbarukan (EBT) yang cukup besar dengan variasi sumber energi yang beragam diantaranya, mini/micro hydro, biomasa, energi angin, dan energi surya. Namun potensi EBT tersebut belum sepenuhnya dimanfaatkan karena berbagai macam kendala, padahal EBT memiliki banyak keunggulan dibandingkan bahan bakar fosil, salah satunya yaitu ramah lingkungan. Dengan adanya bauran EBT untuk memproduksi energi listrik, diharapkan menjadi salah satu upaya dalam mengurangi emisi gas CO² yang dihasilkan oleh pembangkit listrik berbahan bakar fosil (Ramadhani, 2018).

Indonesia terletak di wilayah beriklim tropis, sehingga menerima sinar matahari sepanjang tahun. Hampir setiap daerah di Indonesia menerima sinar matahari sepanjang pagi sampai sore. Radiasi matahari yang dipancarkan dapat dikonversi menjadi energi listrik dengan menggunakan modul surya. Pembangkit listrik tenaga surya memiliki berbagai kelebihan antara lain : energi baru terbarukan tidak akan habis, ramah lingkungan, umur cell surya panjang, dan dangat cocok untuk daerah tropis seperti di Indonesia (Kemen-ESDM, 2018).

Pemerintah provinsi Jawa Tengah turut gencar mendorong pemanfaatan EBT yang dituangkan dalam Rencana Umum Energi Daerah (RUED) dengan target bauran EBT mencapai 21,32% ditahun 2025 dan meningkat menjadi 28,82% pada tahun 2050 mendatang. Masyarakat baik secara perseorangan maupun kelompok dapat berperan dalam (RUED) dilakukan melalui proses perencanaan, pelaksanaan, dan pengawasan. Pemasangan pembangkit listrik tenaga surya (PLTS) menjadi salah satu alternatif yang dapat dipilih oleh masyarakat baik perseorangan maupun kelompok (Rachmi,dkk, 2020).

Alasan energi baru dan terbarukan (EBT) menjadi sumber energi yang dipilih untuk memenuhi kebutuhan penyediaan listrik dalam Rancangan Usaha Penyediaan Tenaga Listrik (RUPTL) tahun 2021 sejalan tujuan pemerintah yang tercantum dalam Kebijakan Energi Nasional (KEN). Menurut PP No. 79 Tahun 2014, energi baru dan terbarukan (EBT) merupakan sumber energi yang dapat dihasilkan oleh teknologi baru dan sumber energi yang berasal dari sumber daya energi yang berkelanjutan jika dikelola dengan baik. sumber energi terbarukan bisa berasal dari panas bumi, angin, sinar matahari dan lainnya (Winardi, 2019)

Pembudidaya udang di daerah pesisir pantai yang tidak tersedia jaringan listrik PLN seluruh kebutuhan energi listrik lebih banyak memanfaatkan genset berbahan bakar minyak (BBM). Penyediaan sumber energi tersebut selama ini masih mengalami banyak kendala dalam pelaksanaannya. Sumber energi dari BBM umumnya terkendala faktor kelangkaan pasokan dan fluktuasi harga di tingkat pembudidaya. Sementara sumber energi yang berasal dari PLN seringkali terjadi pemadaman mendadak (Imam, 2021).

Udang *Vaname* (*Litopenaeus Vannamei*) atau lebih dikenal dengan nama udang putih merupakan spesies yang berasal dari perairan Amerika Tengah dan negara- negara di Amerika Tengah dan Amerika Selatan yang belum lama dibudidayakan di Indonesia, mulai dibudidayakan di Indonesia pada tahun 2001. Udang vaname merupakan salah satu komoditi dalam perikanan yang memiliki prospek ekonomi yang tinggi. Banyak para petambak Indonesia membudidayakan udang vaname sehingga komoditas bertumbuh pesat di Indonesia. Potensi yang sangat besar tersebut menyebabkan perlu pengembangan sistem yang baik, salah satunya dalam penyediaan energi listrik (Rosyid, 2019).

Kebutuhan energi listrik pada tambak budidaya udang *vaname* di pesisir pantai Kebumen yang mengalami keterbatasan jaringan listrik PLN masih menggunakan Genset. Dapat diketahui bahwa program pembauran EBT dipercepat dan Kota Kebumen memiliki potensi iradiasi yang dapat dimanfaatkan. Maka dari itu, akan dilakukan perencanaan PLTS dengan sistem *off-grid*

sebagai sumber energi alternatif pada tambak udang. Perencanaan berdasarkan standar kelayakan PLTS yaitu Kemen-ESDM 2017, sedangkan instalasi pemasangan berdasarkan PUIL 2011. Dengan adanya bauran EBT untuk memproduksi energi listrik, diharapkan menjadi salah satu upaya dalam mengurangi emisi gas CO² yang dihasilkan oleh pembangkit listrik berbahan bakar fosil.

LANDASAN TEORI

Berdasarkan Kemen-ESDM 2017, pembangkit listrik tenaga surya (PLTS) merupakan suatu sistem pembangkit listrik yang bersumber dari radiasi matahari melalui konversi sel fotovoltaik. Sistem kerja PLTS sangat bergantung pada radiasi matahari sehingga semakin tinggi iradiasi matahari yang diterima oleh sel fotovoltaik maka akan semakin besar energi listrik yang mampu diproduksi oleh PLTS. Pembangkit listrik tenaga surya (PLTS), memerlukan komponen yang sesuai dan saling terhubung (berkesinambungan) agar suatu PLTS dapat beroperasi sebagaimana mestinya dan dapat menghasilkan energi listrik secara maksimal sesuai dengan potensi energi sinar matahari yang ada di lokasi instalasi PLTS.

PLTS Off-Grid

Berdasarkan Kemen-ESDM 2017, PLTS *Off Grid* adalah sistem kelistrikan yang tidak terhubung dengan jaringan listrik umum, jadi dapat diartikan bahwa pembangkit listrik tenaga surya off grid adalah pembangkitan tenaga listrik yang energinya bersumber dari radiasi matahari melalui konversi sel fotovoltaik dimana sistem kelistrikannya tidak terhubung dengan jaringan listrik umum. Sistem PLTS *Off Grid* suatu sistem yang hanya bisa disuplai oleh modul surya tanpa ada bantuan dari pembangkit listrik jenis lainnya.



Gambar 1. Skema PLTS *Off Grid*

Skema PLTS *Off Grid* mengandalkan radiasi yang dihasilkan oleh matahari sepenuhnya. Karena panel surya hanya mendapatkan sinar matahari pada siang hari dan tidak mendapatkan sinar matahari pada saat malam hari, maka sistem PLTS membutuhkan komponen yang bernama baterai. PLTS *Off-Grid* biasanya digunakan pada wilayah terpencil seperti pulau dikarenakan pada daerah tersebut belum terjangkau dari listrik PLN.

Perancangan desain teknis sistem PLTS

Perancangan desain teknis sistem PLTS meliputi perhitungan kapasitas komponen yang dibutuhkan pada perencanaan diantaranya menghitung energi harian pada tambak udang, menentukan orientasi dan sudut kemiringan, menentukan kapasitas optimal sistem PLTS, menghitung kebutuhan jumlah modul surya, memilih *inverter*, memilih baterai dan memilih *solar charger controller*. Berikut perhitungan pada perencanaan desain teknis sistem PLTS.

Menghitung orientasi dan sudut kemiringan

1. Sudut elevasi

Sudut elevasi (juga disebut sudut ketinggian) adalah ketinggian sudut matahari di langit yang diukur dari horizontal. Elevasinya adalah 0° saat matahari terbit dan 90° saat pukul 12.00 siang (yang terjadi misalnya di ekuator pada ekuinoks musim semi dan musim gugur). Sudut elevasi juga bergantung pada derajat lintang sebuah lokasi dan hari dalam tahun, jika kita ingin mencondongkan modul agar dapat tegak lurus oleh sinar matahari pada siang hari di hari terpanjang dalam setahun, maka perlu diketahui ketinggian maksimum (dalam derajat) yang dicapai matahari (sudut elevasi) menggunakan persamaan berikut:

$$\alpha = 90^\circ + \phi - \delta$$

Keterangan :

ϕ = sudut lintang utara atau selatan dari garis ekuator yang bernilai positif untuk lintang utara, ($-90^\circ \leq \phi \leq 90^\circ$);

δ = sudut deklinasi sebesar $23,45^\circ$.

2. Sudut zenith

Sudut zenith adalah sudut antara matahari dan vertikal. Sudut zenith mirip dengan sudut elevasi tetapi diukur dari vertikal bukan dari horizontal, berikut persamaan untuk menghitung sudut zenith:

$$\beta = 90^\circ - \alpha$$

Menghitung kebutuhan baterai

1. Menghitung kapasitas baterai

Baterai berfungsi untuk menyimpan energi yang dihasilkan oleh modul surya yang akan digunakan ketika pada malam hari atau pada saat musim hujan dan berawan. Menghitung kebutuhan baterai yang diperlukan PLTS menggunakan persamaan berikut :

$$\text{Kapasitas baterai} = \frac{E_d \times N}{V_s \times \text{DoD} \times \eta_b}$$

Keterangan :

E_d = jumlah energi listrik yang digunakan (Wh);

N = jumlah hari otonomi (Hari);

DoD = kedalaman maksimum untuk pengosongan baterai (%);

V_s = tegangan sistem (V);

η_b = efisiensi baterai (%).

2. Menghitung jumlah paralel baterai

Mengetahui jumlah paralel baterai yang dibutuhkan berdasarkan kapasitas baterai yang didapat dari persamaan berikut :

$$N_p = \frac{C}{C_b}$$

Keterangan :

N_p = jumlah baterai tersusun paralel;

C = kapasitas baterai yang dibutuhkan (Ah);

C_b = kapasitas baterai yang akan digunakan (Ah);

3. Menghitung jumlah seri baterai

$$N_s = \frac{V_s}{V_b}$$

Keterangan :

N_s = jumlah baterai tersusun seri;

V_s = tegangan sistem (V);
 V_b = tegangan nominal baterai (V).

Menghitung kapasitas modul surya

Terkait dengan cuaca yang tidak dapat diprediksi, perhitungan jumlah modul surya dapat mengakomodasi cadangan energi yang dimaksudkan untuk menambahkan keandalan PLTS. Total kebutuhan daya ditambahkan 20% dari total kebutuhan daya per hari karena terkait dengan cuaca yang tidak dapat diprediksi, mempertimbangkan rugi-rugi sistem dan pada modul surya akan selalu ada daya yang hilang (Oktavian, dkk, 2018). Mengetahui kapasitas modul surya menggunakan persamaan berikut :

$$P_{out} = V_{oc} \times I_{sc} \times FF$$

Keterangan :

P_{out} = daya keluaran modul PV (W);
 V_{oc} = tegangan open circuit (V);
 I_{sc} = arus short circuit (A);
 FF = fill factor.

Fill Factor (FF) merupakan parameter yang menentukan daya maksimum dari modul PV. Nilai FF biasanya sekitar (0,7-0,85), semakin besar nilai FF maka kinerja modul PV tersebut semakin baik dan memiliki efisiensi yang semakin tinggi. Perhitungan FF seperti pada persamaan berikut :

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

Keterangan :

FF = fill factor;
 V_{mp} = tegangan maksimal modul PV (V);
 I_{mp} = arus maksimal modul PV (A);
 V_{oc} = tegangan open circuit (V);
 I_{sc} = tegangan open circuit (V).

Perhitungan daya maksimum yang dapat masuk ke modul surya dihitung menggunakan persamaan berikut ini :

$$P_{in} = \text{Irradiance STC} \times \text{luas satu unit modul surya}$$

Keterangan :

P_{in} = daya input maksimum modul surya (W);
 $\text{Irradiance STC} = 1000 \text{ W/m}^2$.

Dari nilai daya maksimum yang dapat dihasilkan dan dapat ditangkap oleh modul surya, maka efisiensi modul surya dapat dihitung menggunakan persamaan berikut ini :

$$\eta_{\text{modul}} = \frac{P_{\text{max}}}{P_{\text{in}}} \times 100\%$$

Keterangan :

η_{modul} = efisiensi modul surya (%);
 P_{in} = daya input maksimum modul surya (W).

Pada umumnya energi cahaya matahari yang dapat dikonversi menjadi energi listrik adalah 4,5 jam, sehingga untuk menghitung jumlah modul surya adalah kebutuhan daya dibagi kapasitas modul surya dikalikan 4,5 jam (Oktavian, dkk, 2018). Berikut merupakan perhitungan daya modul surya yang akan dibangkitkan oleh PLTS untuk melayani beban yang dibutuhkan sesuai pada persamaan :

$$P_{\text{modul}} = \frac{E_d}{\text{lama penyinaran matahari}}$$

Keterangan :

$P_{\text{modul}} \text{ surya}$ = daya yang dibangkitkan PLTS (W);

E_d = jumlah energi listrik yang digunakan (Wh).

$$\text{Jumlah modul surya} = \frac{P_{\text{modul}} \text{ surya}}{P_{\text{max}}}$$

Keterangan :

$P_{\text{modul}} \text{ surya}$ = daya yang dibangkitkan PLTS (W);

P_{max} = daya maksimum satu unit modul surya (W).

Menghitung kapasitas inverter

Kapasitas inverter harus sesuai dengan beban rata-rata dan beban puncak yang beroperasi selama lebih dari 30 menit. Perkiraan atau profil beban yang diukur harus ditetapkan untuk mengidentifikasi beban kontinyu dan beban puncak (Ramadhani, 2018)

Menghitung kapasitas solar charger controller

Solar Charger Controller berfungsi sebagai pengontrol baterai agar baterai tidak mengalami kelebihan pelepasan muatan (*over discharge*) atau kelebihan pengisian muatan (*over charge*) yang dapat mengurangi umur baterai. SCC mampu menjaga tegangan dan arus keluar masuk baterai sesuai kondisi baterai. Mengetahui kapasitas SCC dapat dihitung menggunakan persamaan berikut:

$$\text{Kapasitas solar charger controller} = \text{Jumlah modul surya} \times I_{sc}$$

METODE PENELITIAN

Metode yang digunakan untuk menyelesaikan penelitian adalah analisis deskriptif. Analisis deskriptif dilakukan dengan perhitungan-perhitungan teknis dan finansial untuk menggambarkan kelayakan investasi. Berikut rincian proses analisis yang akan dilakukan dilakukan:

1. Studi literatur tentang pedoman dalam merencanakan dan merancang PLTS agar efektif.
2. Mengumpulkan data berisikan data kebutuhan daya beban listrik pada tambak udang.
3. Perencanaan meliputi analisis lokasi pemasangan panel surya, beban listrik pada tambak dan sistem kelistrikan.
4. Perancangan desain teknis sistem meliputi perhitungan kapasitas PLTS, modul surya, baterai, SCC, *inverter*, pengkabelan, dan sistem *grounding*.
5. Analisis daya dan energi yang dihasilkan sistem PLTS.
6. Melakukan analisis biaya meliputi : analisis pembangunan PLTS dengan mencari rencana anggaran biaya (RAB), biaya operasi dan pemeliharaan, LCC, CRF, COE dan *Payback Periode*.
7. Menarik kesimpulan apakah pemasangan PLTS pada tambak udang layak.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Beban Pada Tambak Udang

Beban energi listrik yang digunakan pada tambak udang *vaname* berupa *aerator* dan lampu LED. Perhitungan ini bertujuan untuk mendapatkan nilai energi listrik yang harus disuplai

dari sistem pembangkit listrik tenaga surya. Berikut data penggunaan peralatan listrik harian pada tambak udang ditunjukkan pada Tabel 1. Pada penelitian waktu siang dihitung dari pukul 06.00-17.59 WIB, sedangkan waktu malam dihitung pukul 18.00-05.59 WIB.

Tabel 1. Data beban penggunaan peralatan listrik harian pada tambak udang

Peralatan	Jumlah	Daya (Watt)	Operasi per hari (Hour)	Operasi per hari (Hour)	Konsumsi Daya per hari (Wh)	Konsumsi Daya per hari (Wh)	Total Daya (Wh)
			siang	malam	siang	malam	
Aerator	2	750	10	10	15000	15000	30000
Lampu tambak	3	15	0	12	0	540	540
Lampu rumah tambak	1	10	0	10	0	100	100
Total					15000	15640	30640

Dengan konfigurasi pemakaian seperti di atas, maka keperluan daya per hari adalah sebesar 30.640 Wh atau 30,64 kWh. Total kebutuhan daya ditambahkan 20% dari total kebutuhan daya per hari, karena terkait dengan cuaca yang tidak dapat diprediksi pada modul surya akan selalu ada daya yang hilang maka kebutuhan energi listrik per hari menjadi $30.640 \text{ Wh} + 6.128 \text{ Wh} = 36.768 \text{ Wh}$ atau 36,768 kWh.

Menghitung orientasi dan sudut kemiringan

Lokasi Desa Kenoyojayan, Kabupaten Kebumen Jawa Tengah berada pada titik koordinat $-7,8972$ lintang atau $7,8972$ lintang selatan. Titik koordinat menjelaskan bahwa Desa Kenoyojayan Kabupaten Kebumen berada pada belahan bumi selatan atau berada dibawah garis khatulistiwa, sehingga modul *fotovoltaik* harus menghadap ke utara atau 0° agar dapat menghasilkan energi matahari yang optimal. Jika ingin mencodongkan modul agar dapat tegak lurus oleh sinar matahari pada siang hari di hari terpanjang dalam setahun, maka perlu diketahui ketinggian maksimum (dalam derajat) yang dicapai matahari. Ketinggian maksimum dapat diketahui dengan persamaan berikut :

$$\alpha = 90^\circ + 7,8972 - 23,45^\circ$$

$$\alpha = 74,4472^\circ$$

Sudut kemiringan modul terhadap bidang horizontal dapat diketahui dengan sudut komplementer dari α . Berikut besar sudut kemiringan panel agar terkena sinar matahari secara optimal menggunakan persamaan berikut :

$$\beta = 90^\circ - \alpha$$

$$\beta = 90^\circ - 74,4472^\circ$$

$$\beta = 15,5528 = 16^\circ$$

Berdasarkan hasil perhitungan sudut kemiringan optimal modul surya terhadap bidang horizontal sebesar 16° .

Menghitung jumlah baterai

Mengetahui jumlah baterai yang dibutuhkan dapat dihitung dengan persamaan berikut :

$$\begin{aligned}
 \text{Kapasitas baterai} &= \frac{Ed \times N}{V_s \times \text{DoD} \times \eta_b} \\
 &= \frac{30.640 \times 2}{48 \times 0,8 \times 0,95} \\
 &= \frac{61.280 \times 2}{36,48} \\
 &= 1679 \text{ Ah}
 \end{aligned}$$

Setelah diketahui kapasitas baterai yang diperlukan, selanjutnya dilakukan perhitungan jumlah baterai yang digunakan. Berikut merupakan perhitungan untuk menentukan jumlah baterai yang akan digunakan yaitu dengan menggunakan persamaan berikut :

$$\begin{aligned}
 N_p &= \frac{C}{C_b} \\
 &= \frac{1679}{200} \\
 &= 8 \text{ unit} \\
 N_s &= \frac{V_s}{V_b} \\
 &= \frac{48}{12} \\
 &= 4 \text{ unit}
 \end{aligned}$$

Setelah didapatkan jumlah baterai tersusun paralel sebanyak 8 unit dan tersusun seri sebanyak 4 unit, maka jumlah keseluruhan baterai yang dibutuhkan dapat dihitung dengan mengalikan jumlah paralel dan seri baterai, yaitu $8 \times 4 = 32$ unit.

Menghitung kapasitas modul surya

Pemilihan modul surya sangat penting karena dapat mempengaruhi energi yang dihasilkan pada sistem PLTS. Pada perencanaan ini telah ditentukan modul surya yang akan digunakan yaitu jenis *monocrystalline* dengan kapasitas sebesar 450 Wp.

Nilai *Fiil Factor* (FF) dihitung menggunakan persamaan sebagai berikut :

$$\begin{aligned}
 FF &= \frac{V_{mp} \times I_{mp}}{V_{oc} \times I_{sc}} \\
 &= \frac{41,40 \times 10,87}{50 \times 11,36} \\
 &= \frac{450}{568} \\
 &= 0,79
 \end{aligned}$$

Kemudian dilakukan perhitungan daya maksimal yang dapat dihasilkan oleh satu unit modul surya menggunakan persamaan sebagai berikut:

$$\begin{aligned}
 P_{max} &= V_{oc} \times I_{sc} \times FF \\
 &= 50 \times 11,36 \times 0,7 \\
 &= 448,72 \text{ Watt}
 \end{aligned}$$

Daya input atau daya yang masuk ke dalam satu unit modul surya dapat dihitung dengan persamaan sebagai berikut :

$$\begin{aligned}
 P_{in} &= \text{Irradiance STC} \times \text{luas satu unit modul surya} \\
 &= 1000 \text{ W/m}^2 \times (2108 \times 1048) \text{m} \\
 &= 2.209,184
 \end{aligned}$$

Efisiensi dari modul surya dapat diketahui dengan menggunakan persamaan dibawah ini :

$$\eta_{\text{modul}} = \frac{450}{568} \times 100\%$$

$$\begin{aligned}
 &= \frac{448,72}{2.209,184} \times 100\% \\
 &= 20,37\%
 \end{aligned}$$

Efisiensi modul surya dari hasil perhitungan sama dengan efisiensi modul surya yang tertera pada data sheet modul tersebut. Berikut merupakan perhitungan daya dan energi modul surya yang akan dibangkitkan oleh PLTS untuk melayani beban yang dibutuhkan menggunakan persamaan berikut dengan parameter lama penyinaran matahari tersingkat selama 4,5 jam/hari:

$$\begin{aligned}
 P_{\text{modul surya}} &= \frac{E_d}{\text{lama penyinaran matahari}} \\
 &= \frac{36,768}{4,5} \\
 &= 8.170 \text{ W}
 \end{aligned}$$

Mengetahui jumlah modul surya yang dibutuhkan sesuai daya yang dibangkitkan PLTS, ditentukan menggunakan persamaan berikut ini :

$$\begin{aligned}
 \text{Jumlah modul surya} &= \frac{P_{\text{modul}}}{P_{\text{max}}} \\
 &= \frac{8170}{448,72} \\
 &= 18 \text{ unit}
 \end{aligned}$$

Menghitung kapasitas *inverter*

Berdasarkan pada Tabel 1 data beban penggunaan peralatan listrik harian pada tambak udang, beban puncak terjadi pada malam hari yaitu pada saat *aerator*, lampu penerangan tambak dan lampu tambak digunakan secara bersama-sama. Menghitung kapasitas *inverter* dapat dihitung menggunakan perhitungan berikut.

$$\begin{aligned}
 \text{Beban puncak} &= 1500 \text{ W} + 45 \text{ W} + 10 \text{ W} \\
 &= 1555 \text{ W} \\
 \text{Kapasitas } \textit{inveter} &= 1555 \text{ W} \approx 2000 \text{ W}
 \end{aligned}$$

Menghitung kapasitas *solar charger controller*

Kapasitas *solar charger controller* dihitung dari hasil perkalian arus I_{sc} pada modul surya, menurut tabel modul surya mempunyai I_{sc} sebesar 11,36 A kemudian dikalikan dengan jumlah modul surya. Mengetahui kapasitas *solar charger controller* dapat dihitung menggunakan persamaan berikut :

$$\begin{aligned}
 \text{Kapasitas } \textit{solar charger controller} &= \text{Jumlah modul surya} \times I_{sc} \\
 &= 18 \times 11,36 \text{ A} \\
 &= 204,48 \text{ A} \approx 250 \text{ A}
 \end{aligned}$$

Analisis biaya

Perhitungan rencana anggaran biaya didasarkan pada analisa harga satuan upah, analisa harga satuan alat dan analisa harga satuan bahan. Rencana anggaran biaya untuk perencanaan PLTS di tambak udang mencakup biaya-biaya yaitu: biaya komponen utama PLTS, biaya komponen pendukung, dan biaya jasa instalasi PLTS. Berikut rekapitulasi RAB pembangunan sistem PLTS di tambak udang dapat dilihat pada Tabel 2 berikut.

Tabel 2. Rencana anggaran biaya

No.	Uraian	Kode	Satuan	koefisien	Harga satuan (Rp)	Jumlah
A	Tenaga kerja					
1.	Pekerja	L.01	OH	2,00	65.000	Rp.130.000
2.	Tukang	L.02	OH	2,00	95.000	Rp.150.000
3.	Kepala tukang	L.03	OH	1,00	105.000	Rp.105.000
Jumlah harga tenaga kerja						Rp.425.000
B	Bahan					
1.	Panel surya monocrystalline 450 Wp		Unit	18,0	3.675.000	Rp. 66.150.000
2.	Inverter 2000 watt		Unit	1,00	4.400.000	Rp. 4.400.000
3.	Baterai 200 Ah		Unit	32,0	2.600.000	Rp. 83.200.000
4.	Solar charger controller		Unit	1,00	7.700.000	Rp. 15.400.000
5.	Combiner box 2 string input 1 output		Unit	1,00	1.280.000	Rp. 1.280.000
6.	Briket midle clam		Unit	16,0	15.000	Rp. 240.000
7.	Briket end clam		Unit	8,00	15.000	Rp. 120.000
8.	Rail 2,5 m		Unit	10,0	176.000	Rp. 1.760.000
9.	Connectror MC4		Unit	10,0	6.000	Rp. 60.000
10.	Kabel 12 AWG		Meter	15,0	25.000	Rp. 375.000
11.	Kabel NYA		Meter	20,0	17.000	Rp. 280.000
12.	Pengaman kabel 1 m		Unit	10,0	10.000	Rp. 100.000
13.	Adjustable rear leg mounting solar PV		Unit	4,00	120.000	Rp. 480.000
14.	Adjustable front leg mounting solar PV		Unit	4,00	67.500	Rp. 270.000
15.	Rak baterai		Unit	2,00	599.000	Rp. 1.198.000
Jumlah harga bahan						Rp. 166.858.000
C	Jumlah harga tenaga kerja dan bahan (A+B)					Rp. 167.283.000
D	Biaya overhead & profit (12%)					Rp. 20.073.960
E	Harga satuan pekerjaan (C+D)					Rp. 187.356.960

Sumber : DPU Bina Marga dan Cipta Kerja Provinsi Jawa Tengah edisi 1

Analisa harga satuan pemasangan PLTS pada tambak udang *vaname* dibutuhkan biaya tenaga kerja senilai Rp. 425.00,-. Harga satuan bahan didapatkan harga Rp. 166.858.000,-. Biaya pemasangan dengan menjumlahkan biaya pekerja, bahan, serta keuntungan dan biaya tak terduga sebesar 12% dibutuhkan biaya senilai Rp 187.356.960,-. Analisa biaya yang harus dikeluarkan adalah sebesar Rp 187.356,960 dengan ppn 10% menjadi Rp. 206.316.000, dengan biaya operasional dan biaya pemeliharaan pertahun pada PLTS ditetapkan sebesar 1% dari jumlah investasi awal yaitu sebesar Rp. 2.063.160.

KESIMPULAN

Perencanaan sistem pembangkit listrik tenaga surya untuk energi alternatif pada tambak udang di Desa Kenoyojayan, Kabupaten Kebumen, sistem PLTS yang digunakan adalah sistem PLTS Off-Grid. Berdasarkan hasil perhitungan total energi harian yang digunakan pada tambak udang sebesar 30,64 kWh. Hasil dari perhitungan sudut kemiringan panel sebesar 16° yang diorientasikan ke arah utara. Menggunakan modul surya monocrystalline 450 Wp sebanyak 18 unit, *solar charger controller* yang digunakan 250 A sebanyak 1 unit dan *inverter* mempunyai kapasitas 1000 Watt, menggunakan 32 unit baterai dengan spesifikasi baterai 200 Ah.

Berdasarkan hasil perhitungan, investasi awal sebesar Rp 206.316.000 dengan biaya perawatan Rp. 2.063.160, biaya siklus hidup (LCC) Rp. 223.894.123, energi yang dihasilkan 12.313,82 kWh/tahun, COE sebesar Rp. 2.132,24 kWh, penurunan gas CO² sebesar 43,738 ton CO² per tahun, *payback period* akan kembali pada antara tahun ke-15 dan tahun ke-16.

DAFTAR REFERENSI

- Amrullah, M. 2023. Perencanaan PLTS Atap On-Grid Untuk Melayani Beban Penerangan Gedung Fakultas Teknik 03 Untidar Magelang.
- Edo, Oktavian., Sapto Nisworo, Dan Deria Pravitasari. 2018. Perencanaan Pembangkit Listrik Tenaga Surya Pada Rumah Tinggal Sederhana. Magelang.
- Imam Achmad. 2021. Penerapan Pembangkit Hybrid Sebagai Penggerak Kincir Air Pada Tambak Udang. Jurnal Teknik Elektro. Vol. 10 Nomor 01, Halaman 91- 98.
- IRENA. 2017. Renewable Energy Prospects: Indonesia, a REmap analysis, International Renewable Energy Agency (IRENA), Abu Dhabi,
- Kemen-Esdm. 2018. Peraturan Menteri Esdm Nomor 49 Thn 2018 Tentang Penggunaan Sistem Pembangkit Listrik Tenaga Surya Atap Oleh Konsumen Pt. Pln (Persero).
- Kemen-Esdm. 2017. Panduan Pengoperasian Dan Pemeliharaan Plts Off-Grid.
- Lutfian, R. 2022. Kinerja Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) Atap On-Grid Residensial Berkapasitas 46,6 Kwp Serpong, Tangerang. Magelang
- PUIL. 2011. Persyaratan Umum Instalasi Listrik (PUIL). Badan Standarisasi Nasional.
- Rachmi, A. Dkk. 2020. Panduan Perencanaan Dan Pemanfaatan Plts Atap Di Indonesia : Indonesia Clean Energy Development. Jakarta: Usaid.
- Ramadhani, Bagus. 2018. Buku Instalasi Listrik.Tenaga Surya, Deutsche Gesellschaft Für Internationae Zusammenarbeit (Giz) Gmbh Energising Development (Endev) Indonesia.
- Rosyid Idris, A., Thaha, S., Tato. 2019. Studi Ekonomis Perencanaan Plts Stand Alone Untuk Penggerak Motor Kincir Air Pada Tambak Udang, Yogyakarta.
- Winardi, B., Nugroho, A., & Dophina. 2019. Perencanaan Dan Analisis Ekonomi Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) Terpusat Untuk Desa Mandiri. 16(2), P-Issn.