

See discussions, stats, and author profiles for this publication at: <https://www.researchgate.net/publication/335467109>

Perencanaan dan Analisis Ekonomi PLTS Terpusat (Studi Kasus : Pulau Kodingareng)

Conference Paper · August 2019

CITATIONS

2

READS

1,625

2 authors:



Usman Usman

Politeknik Negeri Ujung Pandang

22 PUBLICATIONS 34 CITATIONS

SEE PROFILE



Umar Muhammad

Politeknik Bosowa

11 PUBLICATIONS 25 CITATIONS

SEE PROFILE

Perencanaan dan Analisis Ekonomi PLTS Terpusat (Studi Kasus : Pulau Kodingareng)

Usman¹⁾, Umar Muhammad²⁾.

^{1,2} Program Studi Teknik Listrik, Politeknik Bosowa
email: usman@politeknikbosowa.ac.id¹, umar01uh@gmail.com²

Abstract

Penelitian menyajikan perencanaan desain PLTS terpusat sehingga didapatkan kapasitas PLTS yang cocok sesuai dengan perencanaan untuk memenuhi kebutuhan energi listrik di Pulau Kodingareng, Kabupaten Sinjai beserta analisis ekonominya untuk mengetahui biaya energi. Metode yang digunakan dalam penelitian ini adalah dengan melakukan kajian literatur yang berkaitan dengan analisis perencanaan PLTS beserta analisis ekonominya. Data yang dibutuhkan diperoleh dari hasil penelitian yang berkaitan dengan masalah topik ini dan laporan dari dinas terkait. Hasil yang didapatkan untuk beban perencanaan sebesar 8 kW dan energi listrik yang dibutuhkan sebesar 40 kWh/hari didapatkan kapasitas panel surya 11.72 kWp, baterai sebesar 7352.94 Ah, BCR dengan kapasitas minimum 100 A dan inverter 10 kW, dimana radiasi matahari 4.53 kWh/m²/hari. Sistem ini diestimasi akan menghasilkan energi listrik dalam setahun sebesar 16741.42 kWh. Biaya energinya sebesar 5,994.66 Rp/kWh dan BEP terjadi pada tahun ke 15.

Keywords: perencanaan, PLTS, kapasitas komponen, biaya energi dan BEP.

PENDAHULUAN

Indonesia adalah negara kepulauan yang terdiri dari 13.466 pulau dengan jumlah populasi ± 222 juta populasi [1,2,3,4]. Pulau-pulau kecil dan berpenghuni pada umumnya belum mendapatkan akses listrik, sama halnya pada Pulau Kodingareng ini. Kendala utama dalam penyediaan listrik disebabkan karena letak geografi dan topografi Indonesia yang tidak memungkinkan pengadaan jaringan listrik PLN, dan belum optimalnya pemanfaatan sumber daya energi baru dan terbarukan dan rasio elektrifikasi Indonesia sampai dengan tahun 2015 adalah 80.51% [5,6].

Negara kita mempunyai potensi energi terbarukan khususnya energi matahari (surya), karena mendapatkan penyinaran 10 – 12 jam dalam sehari. Berdasarkan [7,8,9] kita mempunyai potensi energi surya sebesar 1,2 x 10⁹ MW dengan kapasitas terpasang baru mencapai 10 MWp dengan intensitas penyinaran penyinaran matahari rata-rata 4,85 KWh/m²/hari. Sejalan dengan Perpres no. 5 tahun 2006 peningkatan kontribusi Energi Baru Terbarukan (EBT) dalam bauran energi nasional sebesar 5% dan Perpres tentang Kebijakan Energi Nasional (KEN) untuk meningkatkan pangsa pasar energi terbarukan serta program Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral (ESDM) untuk meningkatkan rasio elektrifikasi nasional adalah pembangunan Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) atau *Solar Home System* (SHS).

Penelitian oleh Santriani [10] sistem PLTS terpusat untuk catu daya tambahan untuk

menyuplai energi listrik sebesar 81.25 kWh/hari dibutuhkan daya sebesar 21.694,8 Wp dengan biaya energi sebesar 8.464/kWh, NPV = 6.960.766, PI = 1,004 dan DPB = 24 tahun 7 bulan. Al-smairan dkk [11] untuk memenuhi kebutuhan energi listrik sebesar 5.32 kWh/hari dibutuhkan daya panel surya 1.483 kWp dengan biaya energi = 0.74 \$/kWh dan PBP = 17 tahun. Oko dkk [12] dengan kebutuhan energi listrik 9.235 kWh/hari, kebutuhan panel surya sebesar 28.21 kWp, biaya energi 0.60/kWh dan BEP adalah 10 tahun. Lee dkk [13] kapasitas panel surya 67.27 kWp dengan harga jual 0.17 \$/kWh didapatkan NPV = \$ 81,996, IRR 8.74%, SPBP = 11 tahun dan PI = 1.28.

Sistem PLTS merupakan pembangkit yang ramah lingkungan dibandingkan dengan pembangkit konvensional lainnya, hali memberikan nilai lebih, akan tetapi mempunyai nilai investasi yang tinggi serta biaya pembangkitan yang tinggi. Akan tetapi hal ini akan semakin berkurang pada tahun-tahun yang akan mendatang sehubungan dengan semakin menurunnya biaya manufaktur dari panel surya tersebut.

Tujuan yang ingin dicapai dalam penelitian ini mendapatkan kapasitas dari komponen sistem PLTS yaitu panel surya, *charger control*, baterai dan inverter. Kemudian dilakukan analisis ekonominya untuk mencari biaya energi, BEP serta nilai sisa yang didapatkan dari sistem ini.

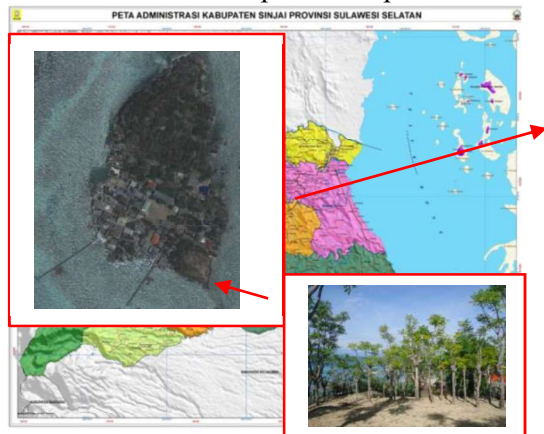
KAJIAN LITERATUR

Kondisi Pulau Kodingareng

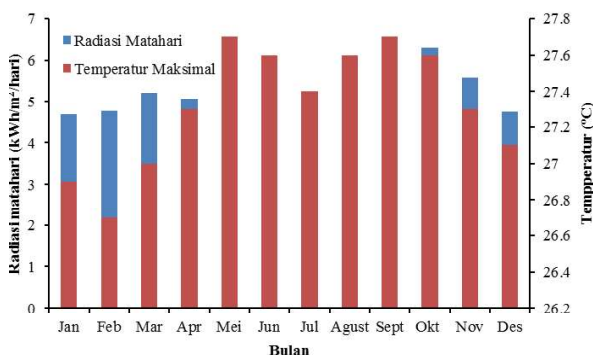
Pulau Kodingareng Kecamatan Pulau Sembilan Kabupaten Sinjai adalah merupakan salah satu

pulau yang terletak di bagian selatan Kabupaten Sinjai tepatnya di Teluk Bone, terletak 215 Km arah timur Kota Makassar. Jumlah penduduknya adalah 620, dengan jumlah rumah tangga 118 buah. Fasilitas umum yang ada di pulau ini adalah Masjid 1 buah, sekolah SD 1 buah, Puskesmas Pembantu 1 buah, dan MCK umum 7 buah.

Lokasi perencanaan PLTS terpusat ini berada pada $5^{\circ}5'$ LS dan $102^{\circ}5'$ BT. Potensi energi matahari di Pulau Kodingareng berdasarkan [14] NASA adalah rata – rata sebesar $5.209 \text{ kWh/m}^2/\text{hari}$. Radiasi matahari tertinggi terjadi pada bulan September yaitu sebesar $6.38 \text{ kWh/m}^2/\text{hari}$ dan terendah pada bulan Juni sebesar $4.53 \text{ kWh/m}^2/\text{hari}$. Secara lengkap radiasi matahari ini dapat dilihat pada Gambar 2.



Gambar 1. Peta Pulau Kodingareng dan rencana lokasi PLTS terpusat.



Gambar 2. Profil Radiasi matahari dan temperatur udara Pulau Kodingareng.

Sistem PLTS

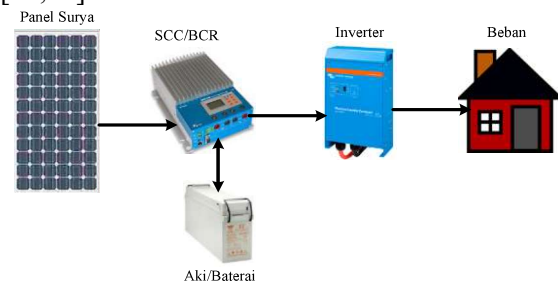
PLTS adalah suatu pembangkit yang mengkonversikan energi foton dari surya menjadi energi listrik. Konversi ini terjadi pada panel surya yang terdiri dari sel-sel surya. komponen utamanya seperti modul fotovoltaik, inverter, baterai, sistem dan pengendali baterai [10]. Sistem PLTS ada 2 jenis yaitu PLTS *stand*

alone dan PLTS *grid connected*. Sebuah sistem PLTS *stand alone* dapat di lihat pada Gambar 3. Panel *suaya/photovoltaic* : merupakan komponen fundamental dalam sistem PLTS. Panel surya inilah yang menghasilkan energi listrik yang dikonversi dari energi foton sinar matahari [15,16]. Jenis panel surya yang umum digunakan ada 3 yaitu *mono crystal silicon*, *mono crystal silicon* dan *armophus silicon*.

BCR : adalah komponen yang berfungsi sebagai kontrol pengisian baterai yaitu memutuskan pengisian apabila baterai terisi penuh dan akan terhubung kembali apabila baterai energinya sudah berkurang. Pada BCR ini juga biasanya terdapat komponen MPPT yang dapat membuat keluaran panel surya berada pada titik maksimalnya [17].

Baterai : merupakan komponen yang menyimpan enrgi listrik yang dihasilkan oleh panel surya. Jenis baterai yang umum digunakan adalah baterai Asam Timbal (*Lead Acid*) karena memiliki efisiensi tinggi dengan harga yang lebih ekonomis [18]. Baterai dalam sistem PLTS mengalami proses pengisian (*charging*) dan pengosongan (*discharging*). Besarnya energi pada baterai dinyatakan dalam Ah [19].

Inverter : berfungsi mengubah tegangan DC menjadi AC. Pemilihan inverter harus sesuai dengan penggunaannya, apakah inverter terhubung ke jaringan listrik (*inverter line-tied*) atau sistem yang berdiri sendiri (*inverter Stand-alone*). Efisiensi inverter pada saat pengoperasian adalah sebesar 90% dengan ketentuan dioperasikan mendekati kapasitasnya [18,16].



Gambar 3. Sistem PLTS *stand alone*.

Analisis Perencanaan.

Analisis perencanaan pada sistem PLTS untuk mengetahui kebutuhan energi, kapasitas sistem PLTS dan kelayakan ekonomi sistem PLTS tersebut.

Kapasitas komponen sistem PLTS

Energi yang dibangkitkan oleh panel surya, E_L (kWh/hari) dari panel surya adalah [20]:

$$E_L = \frac{E_S}{\frac{\eta_{overall}}{W_f H}} = \frac{E_S}{\eta_{overall}} \quad (1)$$

Dimana E_S (kWh/hari) : perkiraan kebutuhan energi harian; $\eta_{overall}$ adalah efisiensi sistem komponen; W_f (kW) : *rating* daya yang diperlukan oleh beban; H : jumlah jam beban beroperasi dalam sehari. Efisiensi sistem komponen dihitung dengan

$$\eta_{overall} = \eta_{PV} \eta_B \eta_{INV} \quad (2)$$

Dimana η_{PV} : efisiensi panel surya; η_B : efisiensi baterai dan η_{INV} : efisiensi inverter
Luas area yang diperlukan oleh panel surya, A_{PV} (m^2) dihitung dengan

$$A_{PV} = \frac{E_L}{I_{ave} T_{CF}} \quad (3)$$

Dimana I_{ave} ($kWh/m^2/hari$) : radiasi harian matahari; T_{CF} adalah *temperature correction factor*, yang dihitung dengan [19]

$$T_{CF} = \frac{P_{MPP,t^{\circ}C}}{P_{MPP}} \quad (4)$$

Dimana $P_{MPP,t^{\circ}C}$ (W) : adalah daya keluaran maksimum panel pada saat temperatur di sekitar panel naik menjadi $t^{\circ}C$ dari temperatur standarnya, dihitung dengan :

$$P_{MPP,t^{\circ}C} = P_{MPP} - P_{t^{\circ}C} \quad (5)$$

Dimana P_{MPP} (W) : daya maksimum keluaran panel surya dan $P_{t^{\circ}C}$ (W) : daya pada saat temperatur naik $^{\circ}C$ dari temperatur standarnya, yang dihitung dengan menggunakan

$$P_{t^{\circ}C} = 0.5\%/^{\circ}C \times P_{MPP} \times \Delta t^{\circ}C \quad (6)$$

Dimana $\Delta t^{\circ}C$, ($^{\circ}C$) : kenaikan temperatur dari 25 $^{\circ}C$

Kebutuhan panel surya dalam suatu sistem PLTS ditentukan berdasarkan daya puncak yang dibangkitkan oleh panel surya P_{PVP} (kWp), pada insolasi matahari puncak (PSI -kWp/ m^2) dihitung dengan [11] :

$$P_{PVP} = A_{PV} \times PSI \times \eta_{PV} \quad (7)$$

Total arus yang dihasilkan oleh *array* panel surya, $I_{DC,sym}$ (A), dihitung dengan

$$I_{DC,sym} = \frac{W_{PVP}}{V_{DC,bus}} \quad (8)$$

Dimana $V_{DC,bus}$ (V) : tegangan keluaran *array* panel surya.

Jumlah panel surya yang dihubungkan secara seri dan parallel dihitung dengan cara :

Modul seri, N_{MS}

$$N_{MS} = \frac{V_{DC,bus}}{V_{DC,mod}} \quad (9)$$

Modul parallel, N_{MP}

$$N_{MP} = \frac{I_{DC,sym}}{I_{DC,mod}} \quad (10)$$

Dimana $I_{DC,mod}$ (A) : arus keluaran panel.

Dengan demikian jumlah panel surya yang dibutuhkan adalah

$$N_M = N_{MS} \times N_{MP} \quad (11)$$

Sudut panel surya, s^* ($^{\circ}$) agar optimal mendapatkan pencahayaan sinar matahari ditentukan oleh :

$$s^{\circ} = 2.9489 + 1.4050\phi - 0.0190\phi^2, \quad \text{untuk } 4.858 < \phi < 13.017 \quad (12)$$

Dimana ϕ adalah garis lintang dari lokasi PLTS
Kapasitas baterai, S_{BC} (kWh) dapat diperkirakan dengan menggunakan hubungan :

$$S_{BC} = \frac{N_C E_S}{DOD \times \eta_B} \quad (13)$$

Dimana N_C (hari) : perkiraan jumlah hari tertinggi tanpa sinar matahari (kondisi hujan/berawan) pada lokasi PLTS ; DOD : kedalaman pengosongan baterai.

Jika tegangan DC keluaran panel surya, $V_{DC,bus}$ diketahui, maka kapasitas baterai dalam Ampere-hour, S'_{BC} (Ah) dihitung dengan

$$S'_{BC} = \frac{1000 \times S_{BC}}{V_{DC,bus}} \quad (14)$$

Jumlah baterai, N_C (buah) yang digunakan :

$$N_C = \frac{S'_{BC}}{S'_{1,BC}} \quad (15)$$

Dimana $S'_{1,BC}$ (Ah) : kapasitas 1 baterai yang digunakan

Jumlah baterai yang dibutuhkan, harus diseri dan diparalelkan untuk mendapatkan konfigurasi, baterai yang diseriikan, N_{BS} (buah) dihitung dengan :

$$N_{BS} = \frac{V_{DC,bus}}{V_{DC,1B}} \quad (16)$$

Dimana $V_{DC,1B}$ (V) : tegangan baterai yang digunakan dalam sistem.

Sedangkan jumlah baterai yang diparalelkan, N_{BP} (buah) adalah :

$$\begin{aligned} N_{BP} &= \frac{N_B}{N_{BS}} \end{aligned} \quad (17)$$

Dengan mengetahui kapasitas dari baterai, maka kita dapat menentukan kapasitas dari BCR. Kapasitas BCR ini menggambarkan kemampuan melewati arus maksimum yang dihasilkan oleh array panel surya, I_{VR} (A) dihitung dengan menggunakan persamaan berikut :

$$I_{VR} = N_{MP} \times I_{SC} \times SF \quad (18)$$

Dimana I_{SC} (A) : arus hubung singkat dari pannel surya yang terhubung parallel dan SF : faktor keamanan.

Kapasitas yang dibutuhkan oleh inverter, P_{INV} (kW) adalah

$$P_{INV} = 1.25 \times P_{fd} \quad (19)$$

Perkiraan energi listrik yang dibangkitkan oleh PLTS dalam setahun dihitung dengan [13] :

$$E_{an} = A_{pV} \times \eta_{pV} \times h \times pr \quad (20)$$

Dimana pr (%) : rasio kinerja PLTS dan h (kWh/hari/m²) : rata-rata radiasi matahari tahunan yang dihitung dengan persamaan :

$$S_{module} = S_{horosontal} \times \left(\frac{\sin(\alpha + \beta)}{\sin \alpha} \right) \quad (21)$$

α (°) : sudut elevasi, β (°) : sudut kemiringan panel diukur dari horizontal dan $S_{horosontal}$ (kWh/m²/hari) radiasi matahari.

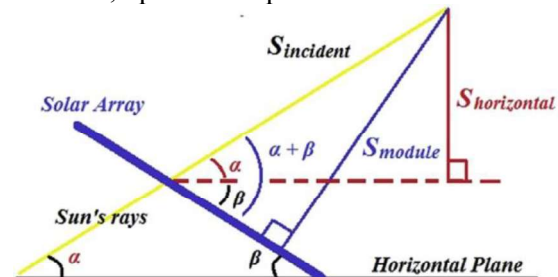
Analisi trigonometri di atas divisualisasi seperti Gambar 4.

Analisi Ekonomi

Analisis ekonomi bertujuan untuk melihat ukuran keekonomian sistem. Untuk menghitung biaya energi yang dihasilkan oleh sistem ini dimulai dengan menghitung *live cycle cost* (LCC) adalah semua biaya yang dikeluarkan oleh suatu sistem, seumur hidupnya. Pada sistem PLTS, LCC terdiri dari biaya investasi awal, biaya jangka panjang untuk pemeliharaan dan operasional serta biaya penggantian yang dinyatakan sebagai nilai sekarang [19,20]. LCC diperhitungkan dengan :

$$LCC = \sum_{q=1}^6 C_q \{PV, B, BCR, INV, INST, O\&M\} \quad (22)$$

Dimana C_q (Rp) : nilai sekarang masing-masing dari panel surya, BCR, baterai, inverter, instalasi, operasi dan pemeliharaan.



Gambar 4. Radiasi matahari pada permukaan miring [13].

Nilai sekarang dari panel surya, BCR, inverter dan instalasi merupakan nilai awal (investasi), sedangkan baterai mengalami pergantian selama umur sistem dihitung dengan

$$C_B = C_{BO} + \sum_{k=1}^j C_{BO} \left(\frac{1+i}{1+d} \right)^{kn} \quad (23)$$

Dimana C_{BO} (Rp) : biaya awal baterai; j (buah) adalah jumlah baterai yang diganti; n (tahun) adalah *life time* baterai biasanya 5 tahun [21]; d (%) : inflasi; i (%) : *interest rate*

Nilai sekarang untuk operasi dan pemeliharaan, diberikan oleh :

$$C_{O\&M} = C_{O\&M/y} \left(\frac{1+i}{1+d} \right) \frac{\left[1 - \left(\frac{1+i}{1+d} \right)^n \right]}{\left[1 - \left(\frac{1+i}{1+d} \right) \right]} \quad (24)$$

Dimana $C_{O\&M/y}$ (Rp) adalah biaya operasi dan pemeliharaan tiap tahunnya.

Biaya tahunan sekarang LCC (ALCC) dari PLTS dapat dihitung dengan :

$$ALCC = LCC \times \frac{\left[1 - \left(\frac{1+i}{1+d} \right) \right]}{\left[1 - \left(\frac{1+i}{1+d} \right)^n \right]} \quad (25)$$

Oleh karena itu biaya pembangkitan energi (*cost of energi*) Rp/kWh adalah :

$$COE = \frac{ALCC}{E_{an}} \quad (26)$$

METODE PENELITIAN

Tujuan penelitian sebagaimana yang telah diungkapkan pada bagian sebelumnya yaitu ini mendapatkan kapasitas dari komponen sistem PLTS. Kemudian melakukan analisis ekonominya untuk mendapatkan biaya energi. Dalam

penelitian ini akan digunakan beberapa asumsi yang didasarkan dari literatur-literatur lain. Metodologi penelitian ini disajikan dalam Gambar 5.

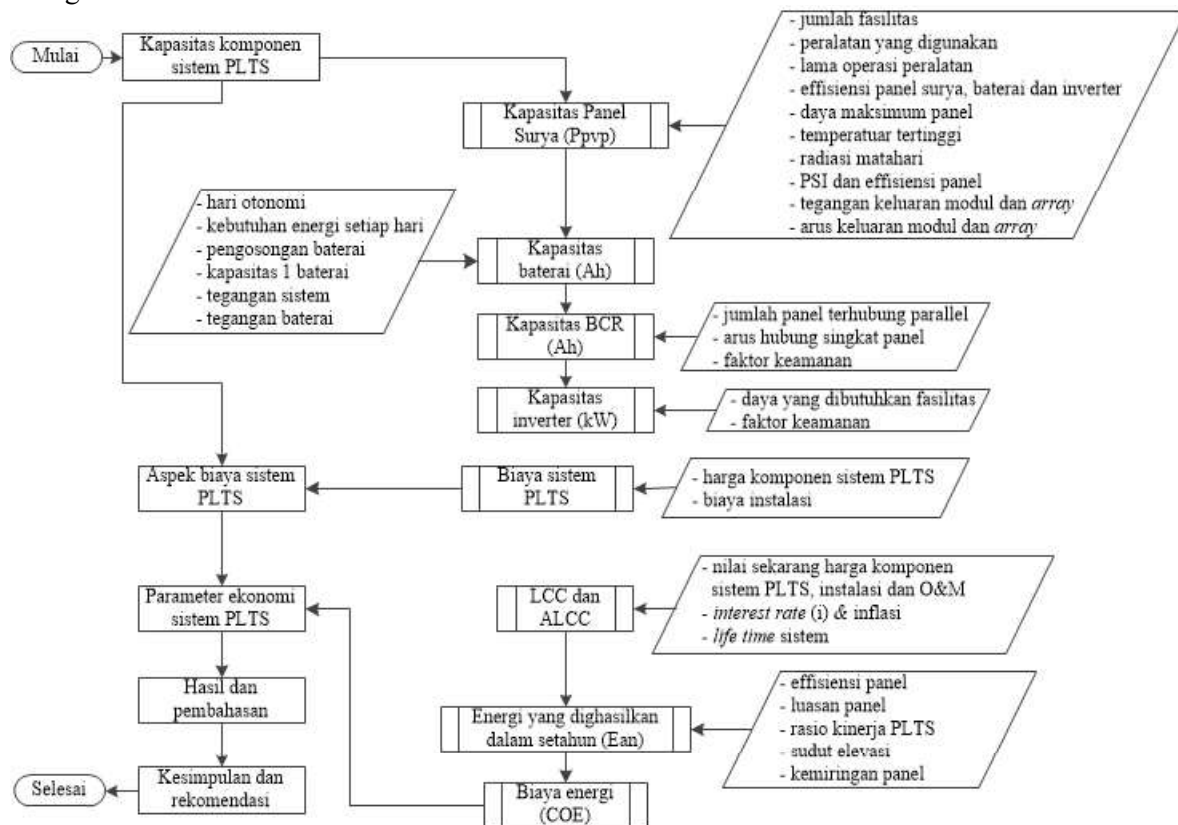
Kebutuhan energi listrik

Kebutuhan energi listrik yang direncanakan berdasarkan bangunan yang ada di Pulau ini. Energi listrik ini akan dimanfaatkan selama 5

jam setiap harinya dari pukul 18.00 – 23.00. Kebutuhan energi listrik untuk tiap bangunan disajikan pada Tabel 1.

Data perencanaan

Data masukan untuk perencanaan dan analisis ekonomi PLTS terpusat ini disajikan pada Tabel 2.



Gambar 5. Metodologi penelitian

Tabel 1. Perencanaan kebutuhan energi listrik Pulau Kodingareng.

Jenis Bangunan	Unit	Daya (kW)	Total daya (kW)	Total Energi (kWh)
Rumah tangga	118	0.065	7.67	38.35
Mushollah	1	0.06	0.06	0.3
Sekolah	3	0.05	0.15	0.75
Pustu	1	0.05	0.05	0.25
MCK Umum	7	0.01	0.07	0.35
Total			8	40

HASIL DAN PEMBAHASAN

Perencanaan dan analisis ekonomi dari sistem PLTS terpusat ini, berdasarkan data masukan pada Tabel 2 di atas, maka keluaran dan parameter-parameter perencanaan serta analisis ekonominya akan dibahas sebagai berikut.

Perencanaan Teknik

Perhitungan parameter - parameter perencanaan teknik secara garis besar akan menghasilkan

kapasitas panel surya, kapasitas BCR, kapasitas baterai dan kapasitas inverter. Berdasarkan perhitungan dengan menggunakan persamaan (1–18). Secara ringkas hasil perhitungan parameter disajikan pada Tabel 3.

Tabel 2. Data estimasi masukan perencanaan PLTS

Parameter	Simbol	Satuan	Nilai	Sumber	
Rating daya	W_f	kW	8	Tabel 2	
Radiasi matahari	I_{av}	kWh/m ² /h	4.53	(14)	
Garis lintang	Φ	°	5.5	Google earth	
Rasio kinerja Degradasi panel/tahun	pr	%	75	(13; 22)	
Hari matahari	-	%	0.5		
Hari matahari	tanpa	N_C	Hari	3	(12)
Effisiensi surya	panel	η_{PV}	-	0.14	(23)
			33		

Effisien baterai	η_B	-	0.85	(12)
Effisien inverter	η_{INV}	-	0.9	

Panel Surya				
Peak Isolation	Solar PSI	kW/m ²	1	(23)
Daya maksimum	W_{PV}	kW	275	
Tegangan maksimum	$V_{DC,mod}$	V	35.5	
Arus hubung singkat	I_{SC}	A	8.31	
Tegangan bus DC Baterai	$V_{bus,DC}$	V	48	

Kapasitas baterai	$S'_{1,BC}$	Ah	150	(25)
Tegangan	$V_{DC,1B}$	V	12	
Depth of discharge	DOD	-	0.8	(12)
Safety factor	SF	-	1.25	

Estimasi biaya komponen PLTS (26; 12)					
Panel	BCR	Bat	Inv	Instalasi	OM
46,63	80,10	23,200/	11,300/	10%	2%
0/W	0/A	Ah	W	dari panel	dari panel
Parameter Ekonomi (27)					
Interest rate	Inflation rate	Lifetime sistem			
5.25%	2.79%	20 tahun			

HASIL DAN PEMBAHASAN

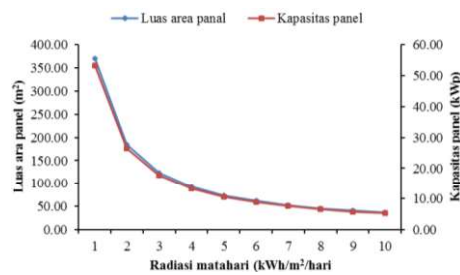
Perencanaan dan analisis ekonomi dari sistem PLTS terpusat ini, berdasarkan data masukan pada Tabel 2 di atas, maka keluaran dan parameter-parameter perencanaan serta analisis ekonominya akan dibahas sebagai berikut.

Perencanaan Teknik

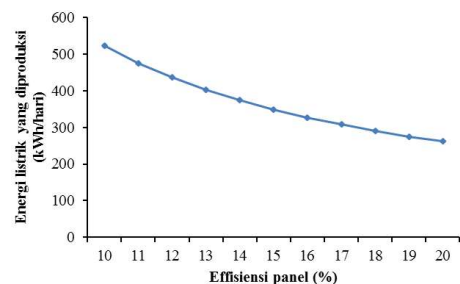
Perhitungan parameter - parameter perencanaan teknik secara garis besar akan menghasilkan kapasitas panel surya, kapasitas BCR, kapasitas baterai dan kapasitas inverter. Berdasarkan perhitungan dengan menggunakan persamaan (1-18). Secara ringkas hasil perhitungan parameter disajikan pada Tabel 3.

Tabel 3. Parameter Perencanaan teknik PLTS.

Parameter	Simbol	Satuan	Nilai
Energi yang dibangkitkan	E_S	kWh/h	364.882
Luasan area panel	A_{PV}	m ²	81.77
Daya puncak panel	W_{PVP}	kWp	11
Jumlah panel s	N_M	-	40
Jumlah panel yang diseri	N_{Ms}	-	4
Jumlah panel yang diparalel	N_{Mp}	-	10
Sudut kemiringan	S^*	°	9.5
Kapasitas baterai dalam kWh	S_{BC}	kWh	176.471
Kapasitas baterai (Ah)	S'_{BC}	Ah	3676.471
Jumlah baterai	N_B	-	48
Jumlah baterai yang diseri	N_{Bs}	-	4
Jumlah baterai yang diparalel	N_{Bp}	-	12
Arus maksimal BCR	I_{VR}	A	100
Kapasitas inverter	W_{INV}	kW	10



Gambar 6. Sensivitas radiasi matahari terhadap luasan area dan daya puncak panel surya dengan kebutuhan energi listrik 40 kWh/hari.

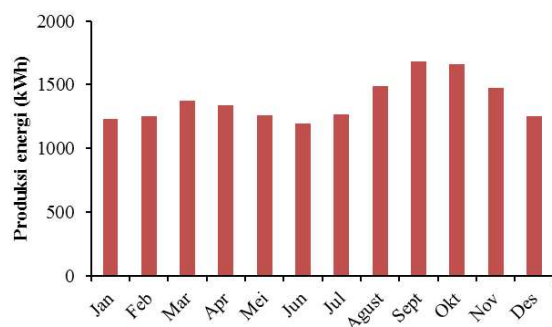


Gambar 7. Sensivitas efisiensi panel surya terhadap energi listrik yang di bangkitkan dengan kebutuhan energi listrik 40 kWh/hari.

Gambar 6 menjelaskan bahwa radiasi matahari mempengaruhi kapasitas panel surya yang dibutuhkan, semakin tinggi radiasi matahari, maka semakin rendah kapasitas panel surya yang dibutuhkan. Ini disebabkan kapasitas panel surya bergantung pada luasan permukaan dan luasan permukaan akan dipengaruhi oleh radiasi matahari, seperti yang ditunjukkan pada persamaan 3. Hal ini sejalan dengan hasil penelitian [12] dimana luasan panel surya merupakan fungsi dari radiasi matahari. Disamping itu produksi energi listrik dipengaruhi pula oleh efisiensi dari panel surya itu sendiri seperti yang ditunjukkan oleh Gambar 7, semakin tinggi efisiensi maka energi listrik yang diperlukan untuk memenuhi kebutuhan energi listrik semakin kecil.

Energi listrik yang dihasilkan dalam setahun diperlukan untuk analisis ekonomi. Berdasarkan persamaan (20) energi listrik yang dihasilkan dalam setahun 16741.42 kWh, dimana radiasi matahari rata-rata tahunan 1904.88 kWh/m² dari persamaan (21). Distribusi produksi energi setiap bulannya dapat dilihat pada Gambar 8. Gambar 8 menunjukkan bahwa produksi energi listrik yang dihasilkan akan bergantung pada besaran radiasi matahari. Seperti yang terjadi pada Bulan September energi listrik yang dihasilkan sebesar 1921.465 kWh dengan radiasi matahari sebesar 6.38 kWh/m²/hari.

Kondisi ini merupakan kondisi dengan radiasi matahari tertinggi. Sedangkan pada Bulan Juni merupakan kondisi radiasi matahari yang terendah selama setahun yaitu sebesar 4.53 kWh/m²/hari dimana energi listrik yang dihasilkan sebesar 1364.3 kWh. Untuk melihat estimasi energi yang dibangkitkan selama 20 tahun disajikan pada Gambar 8. Penghitungan energi ini akan digunakan untuk menganalisis kelayakan investasi. Energi yang dihasilkan setiap tahunnya mengalami penurunan, karena disebabkan oleh degradasi efisiensi panel surya sebesar 0.5% setiap tahunnya [13].



Gambar 8. Produksi energi bulanan sistem PLTS terpusat

Analisis Ekonomi

Biaya komponen

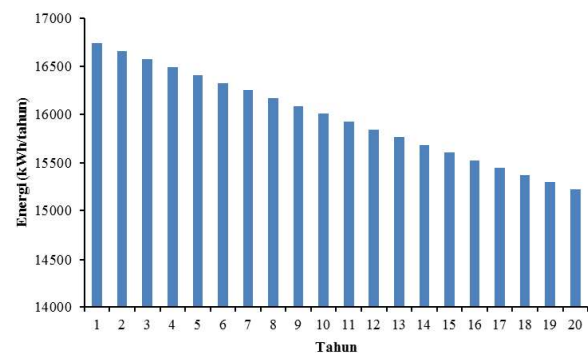
Biaya komponen sistem PLTS terpusat disajikan pada Tabel 5. Nilai ini diperoleh dari hasil perhitungan data perencanaan teknik yang disajikan pada Tabel 3.

Berdasarkan Tabel 10, Gambar 10 menyajikan grafik perbandingan dari masing-masing biaya komponen sistem PLTS terpusat pada Gambar 10. Grafik tersebut dapat dilihat bahwa komponen panel surya merupakan komponen dengan biaya terbesar yang dari semua komponen dalam sistem PLTS, yang nilainya mencapai 60%. Bila dibandingkan dengan [10] didapatkan biaya panel surya mencapai 82%. Perbedaan yang cukup besar ini disebabkan oleh sistem yang dibangun oleh merupakan sistem digunakan sebagai catu daya tambahan, tidak menggunakan media penyimpanan. Apabila komponen biaya baterai pada sistem PLTS terpusat yang direncanakan ini dihilangkan, maka biaya komponen PV bisa mencapai 76%. Sedangkan dibandingkan [12] komponen panel surya mencapai 67%, biaya komponen baterai sebesar 16% sedangkan pada sistem ini sebesar

20%. Penelitian lain oleh [28] komponen panel surya mencapai 50%.

Harga energi

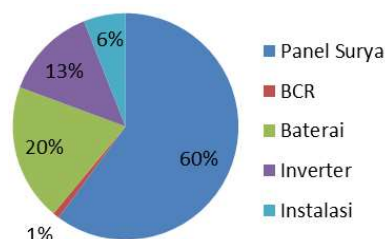
Tabel 5 di bawah ini menyajikan parameter ekonomi dari sistem PLTS terpusat. Nilai ini diperoleh berdasarkan perhitungan dari persamaan (22 – 26). Tabel 5 didapatkan harga energi (COE) sebesar Rp 5,227.87/kWh. Nilai ini lebih kecil 26.54% dari hasil penelitian [12] yaitu 8,160.00/kWh (1US\$ = 13600 IDR [29]). Sama halnya pula dibandingkan dengan [10] didapatkan COE sebesar Rp 8,500/kWh lebih kecil 29.47%. Apabila dibandingkan dengan [30] lebih



Gambar 9. Estimasi energi listrik yang dibangkitkan oleh PLTS terpusat sebagai akibat degradasi efisiensi panel.

Tabel 4. Harga komponen biaya PLTS Terpusat.

Komponen/ Pendukung	Quantity	Harga Satuan (Rp)	Total harga (Rp)
Panel Surya	12100Wp	68,000.00	512,930,000
BCR	100A	80,104.00	8,400,000
Baterai	3600Ah	23,188.00	100,800,000
Inverter	10000W	11,301.60	113,016,000
Instalasi	2% dari panel surya		51,293,000
Total			852,273,000



Gambar 10. Grafik perbandingan biaya komponen sistem PLTS terpusat

Tabel 5. Parameter Ekonomi.

Nilai sekarang	Simbol	Nilai sekarang (Rp)
Panel Surya	C_{PV}	512,930,000,00
BCR	C_{VR}	8,400,000,00
Baterai	C_B	564,461,466.49

Inverter	C_{INV}	113,016,000.00
Instalasi	C_{INST}	51,293,000.00
Operasi dan pemeliharaan	C_{OM}	161,547,816.77
Life Cycle Cost	LCC	1,411,242,283.27
Annual Life Cycle Cost	$ALCC$	87,522,022.48
Cost of Energi	COE	5,227.87

kecil 34.72%. Penelitian lain [31] menunjukkan biaya energi pada masing-masing 0.7587 \$/kWh, 0.6829 \$/kWh, 0.6069 \$/kWh dan 0.873 \$/kWh untuk Brasilia, Munich, Beijing dan Paris.

Pada dasarnya biaya ini relatif lebih tinggi dibandingkan dengan tarif tenaga listrik yang disediakan oleh PLN yang berkisar 1500 Rp/kWh, juga masih lebih tinggi bila dibandingkan dengan tarif PLTS yang dikeluarkan oleh kementerian ESDM sebesar 0.25 \$/kWh.

Perbedaan COE ini karena disebabkan penurunan biaya produksi dari panel surya. Seperti yang disajikan pada Gambar 6. Biaya panel surya mencapai 60% dari total investasi. Biaya yang besar ini akan berimbas pada besarnya ALCC yang pada akhirnya akan mempengaruhi biaya pembangkitan. Penurunan biaya produksi panel surya ini disajikan pada Gambar 8. Penurunan harga produksi ini diperkirakan sebesar 9 % setiap tahunnya [26]. Berdasarkan referensi [10] estimasi harga pembangkitan energi untuk tahun 2016 adalah Rp 6,100/kWh apabila dibandingkan dengan hasil yang didapatkan di atas berbeda sekitar 7.7%.

Penurunan biaya produksi dari panel surya ini akan memberikan peluang kepada PLTS untuk ditingkatkan pemanfaatannya, terutama untuk daerah-daerah yang sulit dijangkau oleh jaringan listrik PLN. Disamping itu pemanfaatan PLTS ini dapat menyumbang peningkatan rasio elektrifikasi dan pemenuhan komposisi energi terbarukan dalam bauran energi nasional.

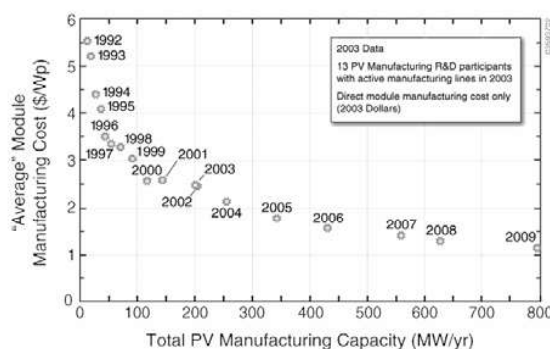
Pay-back periode dan pendapatan

Pay-back periode merupakan sebuah titik atau periode pendapatan akumulasi telah mencapai nol [32,33,34]. Berdasarkan Tabel 7 periode ini tercapai pada tahun 15, karena pada tahun tersebut *cash flow cumulatif* telah bernilai positif. Selama 5 tahun berikutnya mendapat sekitar Rp 196,617,800 sampai umur perencanaan sistem selama 20 tahun.

Perkembangan Masa Datang

Potensi energi matahari yang besar ini harus dikembangkan dan dimanfaatkan sebesar mungkin. Energi ini memberikan alternatif untuk penyediaan energi listrik di daerah-daerah yang sulit terjangkau oleh jaringan distribusi

PLN atau pun didaerah perkotaan khususnya dilingkungan perumahan-perumahan atau *recidence*. Metode ini telah banyak dilakukan di negara-negara maju. Akan tetapi ini harus diimbangi dengan kebijakan pemerintah untuk membuat biaya energi lebih murah dan kompetitif dengan biaya energi yang dihasilkan oleh pembangkit-pembangkit konvensional. Seperti yang telah dijelaskan diatas bahwa komponen panel merupakan penyumbang terbesar dalam sistem PLTS, maka hal ini harus menjadi perhatian dalam penyediannya. Karena panel surya yang banyak ada dipasaran adalah produk-produk luar negeri, dengan demikian harganya menjadi mahal. Dengan kondisi demikian diharapkan pemangku kepentingan bisa mendorong pertumbuhan industri pembuatan panel dalam negeri untuk bisa lebih bersaing dengan panel-panel dari luar negeri. Tentunya hal demikian bisa dilakukan dengan kebijakan-kebijakan tertentu yang dapat membuat industri



Gambar 11. Penurunan harga produksi panel surya (\$/Wp) [26].

dalam negeri bisa mendapatkan pangsa pasar yang lebih besar dalam negeri.

Langkah-langkah yang bisa dilakukan untuk membuat biaya energi lebih kompetitif ini pemerintah membuat kebijakan subsidi kepada penyedia energi dari PLTS baik yang dilakukan secara perorangan maupun secara korporasi.

KESIMPULAN

Berdasarkan perhitungan yang telah dilakukan di atas dengan beban perencanaan sebesar 8 kW dan energi listrik yang dibutuhkan sebesar 40 kWh/hari didapatkan kapasitas panel surya 11.72 kWp, baterai sebesar 7352.94 Ah, BCR dengan kapasitas minimum 100 A dan inverter 10 kW. Dimana radiasi matahari 4.53 kWh/m²/hari. Sistem ini diestimasi akan menghasilkan energi listrik dalam setahun sebesar 16741.42 kWh. Biaya energinya sebesar 5,994.66 Rp/kWh dan BEP terjadi pada tahun ke 15.

UCAPAN TERIMA KASIH

Pada kesempatan ini penulis mengucapkan terimah kasih kepada Anggriani, MT (Dinas Energi dan Sumber Daya Mineral Pemerintah Provinsi Sulawesi Selatan) atas bantuan dalam

memberikan Laporan Perencanaan Energi Perdesaan Kecamatan Pulau Sembilan Kabupaten Sinjai.

Tabel 6. *Pay-back periode* dan estimasi *cash flow* dari sistem PLTS terpusat.

Th n	Investasi	Pengeluaran	Pendapatan	Kas bersih	Kas diskon	bersih	Kumulative
0	852,273,000.00	852,273,000.00	0	- 852,273,000.00	- 852,273,000.00	-	- 852,273,000.00
1		10,258,600.00	100,359,116.95	90,100,516.95	81,723,824.89	-	770,549,175.11
14		10,258,600.00	94,027,931.23	83,769,331.23	40,923,765.29	-	5,603,770.80
15		10,258,600.00	93,557,791.57	83,299,191.57	38,664,216.94	-	33,060,446.15
20		10,258,600.00	91,242,119.58	80,983,519.58	29,104,125.69	-	196,617,800.46