

Analisis Efisiensi Konsumsi Energi Listrik Panel Surya Untuk Warung Umkm dengan Metode Instalasi Atap Langsung

Agung Saputra¹, dan Andi Firdaus Sudarma¹

¹Program Studi Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Mercu Buana Jakarta

E-mail: Agungsaputra33.as@gmail.com

Abstrak-- Energi listrik sangat penting untuk kebutuhan sehari-hari. Pemakaian peralatan elektronik pada saat ini terus meningkat, maka sangat berpengaruh terhadap konsumsi daya listrik yang besar. Dibutuhkan energi alternatif yang lebih ramah lingkungan, bersih, dan tidak terbatas, salah satunya yaitu energi surya. Pada penelitian ini akan menerapkan pembangkit listrik tenaga surya sebagai atap langsung pada warung UMKM, kemudian dilakukan tahapan perhitungan komponen PLTS, terlebih dahulu mengetahui beban yang digunakan pada warung UMKM. Selanjutnya melakukan analisis efisiensi dari masing-masing komponen PLTS termasuk efisiensi beban, dan analisis ekonominya. Parameter yang digunakan dalam pengambilan data yaitu input dan output tegangan, arus dari produksi PLTS, konsumsi beban, kemudian menghitung biaya Life Cycle Cost (LCC), biaya tarif listrik sistem Levelized Cost of Energy (LCOE), Pay Back Period (PBP), dan kriteria kelayakan investasi Net Present Value (NPV). Hasil dari perhitungan didapatkan total beban pada warung UMKM sebesar 1710 Wh, maka dibutuhkan panel surya sebanyak 6 buah dengan kapasitas 100 Wp jenis Polycrystalline, SCC tipe PWM dengan kapasitas 60 A, baterai dengan jenis VLRA 12V 200 Ah, dan Inverter jenis pure sine wave 1000 W. Pengujian selama 7 hari didapatkan efisiensi dari panel surya sebesar 7,92 %, SCC sebesar 70,00 %, baterai 72,35 %, inverter 95,92 %, dan produksi total energi listrik yang dihasilkan PLTS selama 7 hari didapatkan rata-rata sebesar 1,362 kWh dengan konsumsi beban harian rata-rata sebesar 1,392 kWh. Analisis ekonomi didapatkan biaya investasi (LCC) untuk lifetime sistem selama 20 tahun sebesar Rp.27.645.000, tarif LCOE harga listrik sebesar Rp. 2.781,14/kWh, dengan (PBP) selama 20 tahun, dan nilai dari NPV positif maka investasi yang dilakukan dapat dikatakan layak.

Kata kunci: Panel Surya, Efisiensi, PLTS, UMKM, Ekonomi

Abstract-- Electrical energy is very important for daily needs. The use of electronic equipment at this time continues to increase, it greatly affects the consumption of large electrical power. Alternative energy is needed that is more environmentally friendly, clean, and unlimited, one of which is solar energy. In this study, we will apply a solar power plant as a direct roof on the UMKM stall, then the steps for calculating the PLTS component are carried out, first knowing the load used in the UMKM stall. Next, analyze the efficiency of each PV mini-grid component including load efficiency, and analyze its economy. The parameters used in data collection are input and output voltages, currents from PV mini-grid production, load consumption, then calculate the Life Cycle Cost (LCC), the cost of the Levelized Cost of Energy (LCOE) electricity tariff system, Pay Back Period (PBP), and Net Present Value (NPV) investment eligibility criteria. The results of the calculation show that the total load on the UMKM stall is 1710 Wh, so 6 solar panels are needed with a capacity of 100 Wp Polycrystalline type, SCC type PWM with a capacity of 60 A, battery type VLRA 12V 200 Ah, and pure sine wave 1000 inverter. W. Testing for 7 days the efficiency of solar panels is 7.92%, SCC is 69.99%, battery is 72.35%, inverter is 95.92%, and the total production of electrical energy produced by PLTS for 7 days is obtained on average an average of 1.362 kWh with an average daily load consumption of 1.392 kWh. Economic analysis found that the investment cost (LCC) for the system lifetime for 20 years is Rp. 27,645,000, the LCOE tariff for electricity is Rp. 2,781.14/kWh, with (PBP) for 20 years, and the value of the NPV is positive, the investment made can be said to be feasible.

Keywords: Solar panels, Efficiency, PLTS, UMKM, Economy

1. PENDAHULUAN

Pada saat ini penggunaan energi listrik sangat penting untuk kebutuhan manusia sehari-hari,

85% konsumsi energi dunia sekarang bergantung pada bahan bakar fosil, sumber utama emisi CO₂. Selanjutnya, industri bahan bakar fosil sebagai produsen dan konsumen

energi utama merupakan kontributor utama perubahan iklim. Bahan bakar berbasis minyak bumi, di sisi lain, tidak terbarukan dan cadangannya terus-menerus habis [1].

Indonesia merupakan negara kepulauan terbesar di dunia yang terletak di garis khatulistiwa, memiliki potensi besar untuk energi terbarukan seperti energi matahari, angin, tenaga air, dan energi laut. Namun, sumber energi yang melimpah ini belum tereksplorasi secara optimal [2].

Penerapan panel surya sudah cukup banyak dijadikan energi alternatif untuk keperluan yang relevan tidak terlalu membutuhkan listrik yang besar contohnya, skala rumah tangga, lampu jalan, dan taman. Namun saat ini sangat jarang pemanfaatan potensi energi surya pada sector usaha mikro kecil dan menengah atau biasa disebut UMKM [3].

Tempat umum seperti café, food court, taman dan warung UMKM yang sering dikunjungi biasanya dilengkapi payung untuk beristirahat. Penggunaan payung tersebut bisa bermanfaat dan menarik jika dilengkapi perlengkapan charger handphone ataupun lampu penerangan untuk digunakan pada malam hari yang bersumber dari panel surya dan tersimpan pada baterai. Hal ini tentu sangat berguna karena memanfaatkan potensi energi terbarukan seiring perkembangan penerapan panel surya di Indonesia [4].

Pemakaian peralatan elektronik pada saat ini selalu meningkat dalam pemakaian sehari-hari, hal ini berpengaruh terhadap konsumsi daya listrik yang semakin besar. Pada penelitian (Alham, et al. 2021) melakukan pengaplikasian panel surya sebagai energi alternatif terhadap variasi beban elektrik. Hasil dari penelitian tersebut didapatkan efisiensi panel surya sebesar 5% saat pengisian, efisiensi daya inverter pada hari ke-1 64% hari ke-2 sebesar 59%, dan hari ke-3 sebesar 55% dengan beban lampu 15W dan 15W+60W. Namun dalam penelitian tersebut memiliki kelemahan yaitu beban yang digunakan cukup besar tidak sebanding dengan produksi dari sistem PLTS [5].

Penerapan PLTS harus dipastikan bahwa sistem tidak terlalu besar atau terlalu kecil. Perhitungan konsumsi energi listrik menjadi hal yang sangat penting dalam membangun sistem PLTS agar pemilihan komponen dari PLTS tersebut sesuai dengan spesifikasi yang mampu memenuhi kebutuhan konsumsi energi listrik yang digunakan. Demikian juga pentingnya perhitungan analisis ekonomi, karna jika produksi energi listrik yang dihasilkan berlebihan maka akan mengurangi

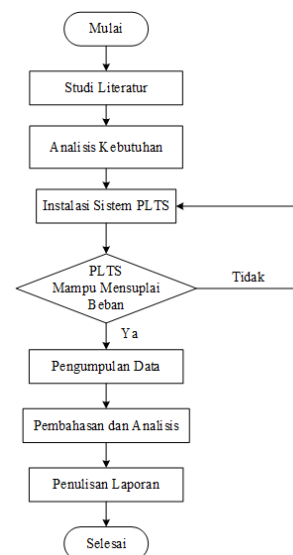
kelayakan ekonomisnya. Hal ini dilakukan agar produksi energi listrik dari sistem sesuai dengan kebutuhan konsumsi energinya, sehingga diharapkan investasi yang murah dengan keluaran energi yang optimal [6].

Berdasarkan permasalahan tersebut pemanfaatan panel surya untuk kebutuhan peralatan listrik pada sektor tempat umum seperti kafe, taman, dan warung skala usaha mikro kecil dan menengah (UMKM) masih jarang ditemui. Penerapannya yang tidak mudah jadi penyebab kurang diminati oleh pemilik usaha untuk memanfaatkan energi alternatif tenaga surya. Penerapan sistem pembangkit listrik tenaga surya (PLTS) harus melakukan tahapan penting yaitu penentuan konsumsi beban, pemilihan komponen, serta analisis dari segi keekonomiannya agar pemanfaatan energi alternatif ini efisien dan ekonomis. Tujuan dari penelitian yang dilakukan

Untuk mengetahui spesifikasi yang sesuai pada setiap komponen sistem PLTS, efisiensi dari masing-masing komponen dan mengetahui analisis dari sisi ekonominya.

2. METODOLOGI

Metode yang digunakan pada penelitian ini yaitu metode eksperimen. Pada Gambar 1 di bawah ini menunjukkan tahapan penelitian yang dimulai dari studi literatur, analisis kebutuhan, instalasi sistem PLTS, pengujian PLTS, pengumpulan data, pembahasan analisis, dan penulisan laporan.



Gambar 1. Diagram Alir

2.1. Penjelasan Diagram Alir

A. Studi Literatur

Dalam tahap ini dilakukan pengumpulan materi dan literatur yang berkaitan dengan sistem pembangkit listrik tenaga surya untuk dijadikan pedoman dalam memecahkan permasalahan topik yang akan diteliti. Materi didapatkan dari jurnal dan *e-book*. Tahap ini juga akan dilakukan survei lokasi, derajat kemiringan pada panel saat terpasang dan informasi potensi bayangan yang berpengaruh pada penggunaan sistem pembangkit listrik tenaga surya (PLTS).

B. Analisis Kebutuhan

Kebutuhan total daya listrik harian perlu diketahui terlebih dahulu agar dapat ditentukannya pemilihan komponen panel surya, *solar charge controller*, baterai, dan inverter.

C. Instalasi Sistem

Komponen dari sistem sudah diketahui maka akan dilakukannya instalasi penyambungan antar komponen agar menjadi sebuah sistem pembangkit listrik tenaga surya (PLTS).

D. Pengujian

Sistem yang sudah terpasang akan dilakukan pengujian, pengujian dilakukan dengan mengetahui produksi listrik yang dihasilkan oleh sistem PLTS pada jam efektif. Kemudian dilakukan pengujian beban pada saat digunakan malam hari.

E. Pengumpulan Data

Pengumpulan data dari hasil pengujian sistem PLTS berupa data produksi panel surya, SCC, baterai, inverter, dan konsumsi beban. Kemudian dilanjutkan dengan pengumpulan data dari biaya investasi awal sistem, biaya operasi dan *maintenance*, data *lifetime* komponen, penggantian komponen.

F. Pembahasan dan Analisis

Tahap ini akan dilakukan pembahasan dan analisis dimulai dari produksi energi listrik sistem PLTS, penggunaan beban, efisiensi masing-masing komponen sistem PLTS, dan dilanjutkan dengan analisis keekonomiannya.

2.2. Lokasi Penelitian

Penelitian ini berlokasi di daerah Kebon Jeruk, Jakarta Barat yang telah disepakati oleh tim. Denah lokasi penelitian seperti di tunjukkan pada Gambar 2 dibawah ini.



Gambar 2. Lokasi penelitian

2.3. Alat dan Bahan

Alat dan bahan yang digunakan dalam perancangan PLTS ini adalah sebagai berikut:

Tabel 1. Alat yang digunakan

No.	Alat	Fungsi
1.	Tang Ampare	Sebagai pengukur arus dan tegangan AC/DC
2.	Solar Power Meter	Untuk mengukur iradiasi matahari
2.	Obeng + -	Untuk mengencangkan baut saat instalasi
3.	Tang Potong	Digunakan untuk Memotong kabel
4.	Watt Meter	Untuk mengetahui jumlah watt dan ampere

Tabel 2. Bahan yang digunakan

No.	Bahan	Fungsi
1.	Panel Surya 100 WP	Mengkonversi energi matahari menjadi energi listrik.
2.	SCC (<i>Solar Charge Controller</i>)	Sebagai Pengontrol Proses pengisian dari panel ke baterai
3.	Baterai	Sebagai penyimpan energi listrik
4.	<i>Inverter</i>	Merubah arus DC ke AC
5.	Kabel PV1-F	Sebagai Penyambung antar komponen sistem PLTS
6.	Skun Kabel	Sebagai Penghubung kabel ke terminal
7.	MCB	Pengaman Sistem kelistrikan
8.	Box Panel	Sebagai pengaman kelistrikan
9.	Tape	Tape untuk melapisi celah antar panel

2.3 Pemilihan Komponen PLTS

Berikut ini merupakan perhitungan dalam menentukan komponen yang sesuai kapasitas.

A. Panel surya

Untuk menentukan jumlah panel/modul surya yang disediakan agar memenuhi kebutuhan PLTS perlu memperhatikan konsumsi harian dan jam efektif penyinaran matahari. Untuk perhitungannya dapat menggunakan persamaan sebagai berikut [7].

$$\text{Jumlah modul} = \frac{\text{ET (watt/jam)}}{P_{\text{max}} \times \text{Jam Efektif (jam)}} \quad (1)$$

Ket:

P_{max} = Tegangan maksimal dari panel (*watt peak*)

ET= energi total konsumsi harian (*watt/jam*)

B. Solar charge controller (SCC)

Dalam pemilihan *solar charge controller (SCC)* perlu disesuaikan dengan arus (I_{mp}) keluaran dari *array*. Untuk menghitung kapasitas SCC dapat ditentukan dengan menggunakan persamaan sebagai berikut [7].

$$I_{\text{SCC}} = I_{\text{sc}} \times n_{\text{panel}} \times \text{Safety Factor } 1,25 \quad (2)$$

Dimana:

I_{SCC} = Kapasitas *solar charge controller (A)*

I_{sc} = Arus hubung singkat keluaran panel (A)

n_{panel} = Jumlah modul panel surya

Safety Factor = nilai faktor keamanan 1,25

C. Baterai

Penggunaan PLTS *off-grid* dibutuhkan sebuah baterai untuk menyimpan energi yang dihasilkan oleh panel surya. Adapun untuk menentukan kapasitas baterai yang ingin digunakan dapat menggunakan persamaan dibawah ini:

$$C_{\text{bat}} = \frac{W}{\text{DOD}} \quad (3)$$

Setelah mendapatkan kapasitas baterai, maka menentukan jumlah baterai yang dibutuhkan menggunakan persamaan:

$$\text{Jumlah baterai} = \frac{C_{\text{bat}}}{\text{Spesifikasi baterai}} \quad (4)$$

Dimana:

C_{bat} = Kapasitas baterai (Wh)

DoD = Kedalaman kapasitas baterai yang dapat dipakai (%)

W= Kebutuhan total beban listrik per hari (Wh)

V= Tegangan baterai yang akan digunakan

D. Inverter

Untuk menghitung kapasitas inverter dapat di tentukan dengan persamaan sebagai berikut:

$$\text{Inverter} = \text{total daya (watt)} \times 1,25 \text{ Safety Factor} \quad (5)$$

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Pada penelitian ini akan menggunakan panel surya berkapasitas 100Wp yang dirangkai secara paralel dan baterai berkapasitas 12V 200Ah yang dikonfigurasi sistem PLTS *Off-Grid*. Penggunaan konsumsi listrik harian pada warung UMKM berdasarkan label daya pada masing-masing beban dapat dilihat pada Tabel 3 dan Gambar 3 untuk kondisi beban pada lokasi.

Tabel 3. Konsumsi beban harian

Keterangan	Jumlah	Besaran Daya (W)	Lama Pemakaian Jam/Hari	Total Pemakaian Harian (Wh)
Lampu 1	1	30	10	300
Lampu 2	1	30	10	300
Lampu 3	1	25	10	250
Lampu 4	1	25	10	250
Lampu 5	1	25	10	250
Lampu 6	1	36	10	360
Total Konsumsi Harian (Wh)				1710



Gambar 3. Beban yang dikonsumsi

Tabel 4. Spesifikasi panel surya

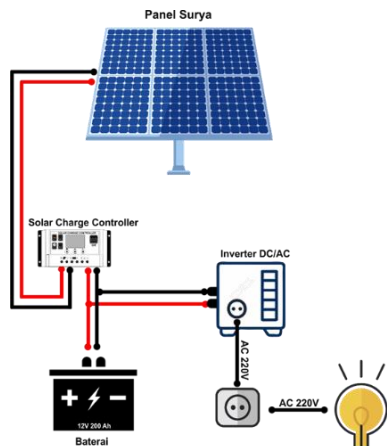
Nama Model	Keterangan
GH100P-36	
<i>Rated Maximum Power</i>	100W
<i>Voltage at Pmax (Vmp)</i>	18,3V
<i>Current at Pmax (Imp)</i>	5,47A
<i>Open-Circuit Voltage (Voc)</i>	22,5V
<i>Short-Circuit Current (Isc)</i>	5,91A
<i>Normal Operating Cell Temp (NOCT)</i>	47±2°C

Maximum System Voltage	1000VDC
Maximum Series Fuse Rating	10A
Operating Temperature	-40to+85°C
Application Class	Class A
Cell Technology	Poly-Si
Weight	6,9 kg
Dimension (mm)	1020*670*30

3.1. Pemilihan Komponen PLTS

Berdasarkan pada Tabel 3 diketahui total beban harian diwarung UMKM sebesar 1710 Wh selama 10 jam atau 1,71 kWh. Maka dibutuhkan panel surya kapasitas 100 Wp polycrystalline sebanyak 6 buah yang dirangkai secara paralel untuk spesifikasinya dapat dilihat pada Tabel 4, SCC dengan tipe PWM berkapasitas 60 A, baterai dengan jenis VLRA 12V 200Ah 1 buah, dan inverter dengan jenis pure sine wave kapasitas 1000 W 1 buah.

Berikut ini Gambar 3 dari skema PLTS dan saat sudah terinstalasi pada warung UMKM sebagai berikut.



Gambar 3. Skema plts off-grid



Gambar 4. Plts yang sudah terinstalasi

3.2. Pengambilan Data PLTS

Data yang didapatkan dari hasil pengujian sistem PLTS dari pukul 08.00 sampai dengan pukul 16.00 selama 7 hari dimulai pada tanggal 15 Desember 2021 sampai 21

Desember 2021. Parameter meliputi daya input dan output dari panel surya, SCC, baterai, inverter, dan beban. Alat ukur yang digunakan menggunakan tang ampere dan watt meter. Berikut ini tabel hasil pengukuran yang telah dilakukan pada Tabel 5.

Tabel 5. Produksi panel dan scc

Tanggal	Iradiasi W/m ²	Panel Surya			SCC		
		V	I	W	V	I	W
15/12/2021	633,9	16,98	12,57	239,73	12,74	12,56	159,85
16/12/2021	573,7	15,87	11,23	203,95	12,65	11,22	142,43
17/12/2021	538,1	15,40	10,42	185,15	12,57	10,41	131,75
18/12/2021	574,5	16,12	11,41	213,34	12,65	11,4	145,25
19/12/2021	604,6	16,27	12,72	224,06	12,66	12,71	161,11
20/12/2021	611,2	16,04	12,41	221,79	12,65	12,4	157,19
21/12/2021	603,2	16,05	12,76	224,44	12,65	12,74	161,48
Rata-rata	591,31	16,10	11,93	216,07	12,65	11,92	151,29

Berdasarkan pada Tabel 5 dapat diketahui bahwa keluaran daya rata-rata panel surya harian terendah pada tanggal 17 Desember 2021 sebesar 185,15 W hal ini dipengaruhi oleh kondisi cuaca berawan yang menyebabkan rendahnya daya keluaran dari panel surya. Sedangkan untuk keluaran daya rata-rata harian tertinggi terjadi pada tanggal 21 Desember 2021 sebesar 224,44 W hal ini terjadi karena cuaca cerah yang mengakibatkan meningkatnya intensitas cahaya yang di peroleh panel surya. Untuk daya rata-rata yang dihasilkan panel surya selama 7 hari sebesar 216,07 W. Sedangkan untuk daya rata-rata yang masuk ke SCC untuk melakukan pengisian ke baterai selama pengujian 7 hari didapatkan sebesar 151,29 W.

Data dari keluaran panel surya sudah didapatkan maka dilanjutkan dengan melakukan perhitungan dari efisiensi panel surya. Data yang digunakan dari rata-rata harian pengukuran panel surya dapat dilihat pada Tabel 5 berikut ini perhitungan efisiensinya.

Diketahui bahwa luas panel surya yang terpasang yaitu:

Panjang panel = 3,06 m Lebar panel = 1,34 m

$A = 3,06 \text{ m} \times 1,34 \text{ m}$

$A = 4,1004 \text{ m}^2$

Setelah mendapatkan nilai dari panjang panel surya dan lebar panel surya, menghitung daya

masukan dengan mengalikan luas dari panel surya dengan iradiasi rata-rata harian selama 7 hari.

$$P_{in} = E \times A$$

$$P_{in} = 591,31 \text{ W/m}^2 \times 4,1004 \text{ m}^2$$

$$P_{in} = 2424,60 \text{ Watt}$$

Nilai dari masukan panel surya sudah didapatkan kemudian dilanjutkan menghitung daya keluaran dari panel surya. Data yang digunakan yaitu rata-rata tegangan dan arus selama pengukuran dalam 7 hari berdasarkan pada Tabel 5 diatas.

$$P_{out} = V_{out} \times I_{out}$$

$$P_{out} = 16,10 \text{ V} \times 11,93 \text{ A}$$

$$P_{out} = 192,073 \text{ Watt}$$

Daya masukan dan daya keluaran sudah didapatkan dilanjutkan dengan menghitung efisiensi dari panel surya berikut ini.

$$\eta = \frac{P_{out}}{P_{in}} \times 100\%$$

$$\eta = \frac{192,073 \text{ W}}{2424,60 \text{ W}} \times 100\%$$

$$\eta = 7,92 \%$$

Selanjutnya melakukan perhitungan efisiensi dari solar charge controller (SCC) data yang digunakan berupa daya rata-rata yang dihasilkan selama 7 hari pengukuran dapat ditunjukkan pada Tabel 5 berikut ini hasil perhitungan dari efisiensi SCC.

$$\eta_{SCC} = \frac{P_{out}}{P_{in}} \times 100\%$$

$$\eta_{SCC} = \frac{151,29 \text{ W}}{216,07 \text{ W}} \times 100\%$$

$$\eta_{SCC} = 70,00 \%$$

Berdasarkan dari perhitungan diatas yang dihasilkan oleh panel surya dari tujuh hari didapatkan rata-rata efisiensi sebesar 7,92 %. Sedangkan untuk efisiensi SCC dari tujuh hari hasil pengujian harian didapatkan rata-rata efisiensi sebesar 70,00 %.

Tabel. 6 Pengukuran rata-rata harian inverter & beban

Tanggal	Inverter (DC)			Beban (AC)			Total kWh
	V	I	P (Watt)	V	I	P (Watt/Jam)	
15/12/2021	12,56	11,55	145,07	219,42	0,64	139,8	1,398

16/12/2021	12,53	11,55	144,72	219,68	0,63	138,6	1,386
17/12/2021	12,54	11,55	144,83	219,59	0,64	139,5	1,395
18/12/2021	12,56	11,56	145,19	219,76	0,63	139,3	1,393
19/12/2021	12,55	11,56	145,08	219,81	0,63	138,9	1,389
20/12/2021	12,57	11,56	145,31	219,50	0,63	138,8	1,388
21/12/2021	12,58	11,56	145,42	219,73	0,63	139,3	1,393
Rata-rata	12,56	11,56	145,09	219,64	0,63	139,16	1,392

Berdasarkan pada Tabel 6 pengukuran konsumsi selama 7 hari dimulai dari pukul 17.00 sampai dengan pukul 02.00 didapatkan rata-rata harian penggunaan inverter tegangan sebesar 12,56 V, untuk rata-rata arus sebesar 11,56 A dan daya rata-rata sebesar 145,09 Wh. Sedangkan untuk rata-rata konsumsi beban selama 7 hari didapatkan tegangan sebesar 219,64 V, untuk arus sebesar 0,63 A dan daya rata-rata konsumsi harian sebesar 139,16 Wh atau 1,392 kWh.

Berikut dibawah ini perhitungan efisiensi baterai dan inverter dari hasil data rata-rata pada Tabel 6 sebagai berikut.

Perhitungan efisiensi Baterai perlu diketahui kapasitas pengosongan dengan mengetahui arus rata-rata input dari inverter kemudian dikalikan dengan waktu pemakaian beban. Sedangkan untuk kapasitas pengisian perlu diketahui arus rata-rata keluaran panel yang masuk melalui SCC kemudian mengisi ke baterai dan dikalikan dengan waktu pengisian [8]. Arus pengisian yang digunakan dalam perhitungan ini menggunakan arus tertinggi harian keluaran panel pada tanggal 21 Desember 2021.

$$\eta_{Ah} = \frac{C_d}{C_c} \times 100\%$$

$$(6)$$

$$= \frac{11,56 \times 10}{19,97 \times 8} \times 100\%$$

$$= 72,35 \%$$

Efisiensi inverter dapat dinyatakan sebagai perbandingan antara daya keluaran inverter dan daya masukan inverter. Daya masukan inverter berupa daya DC sedangkan daya keluarannya adalah daya AC. Efisiensi inverter dapat menggunakan persamaan sebagai berikut [8]:

$$\eta_{Inv} = \frac{P_{out}}{P_{in}} \times 100\% \quad (7)$$

$$= \frac{139,16}{145,07} \times 100\% = 95,92 \%$$

Setelah dilakukan pengujian, pengukuran dan perhitungan didapatkan hasil efisiensi dari masing-masing penyusun komponen PLTS, dari analisa dan perhitungan, didapatkan efisiensi panel surya sebesar 7,92 %, *solar charge controller* sebesar 69,99 %, baterai sebesar 72,35 %, dan inverter sebesar 95,92 %.

Produksi energi listrik PLTS pada warung UMKM menghasilkan total daya rata-rata selama 7 hari pengujian didapatkan 1,362 kWh, Sedangkan untuk konsumsi beban yang pada warung UMKM rata-rata total sebesar 139,16 W dan digunakan selama 10 jam, maka didapatkan total konsumsi beban harian sebesar 1.391,6 Wh atau 1,392 kWh.

3.3 Analisis Aspek Ekonomi

Analisis aspek ekonomi ada beberapa perhitungan diantaranya yaitu melakukan perhitungan menggunakan metode biaya siklus hidup atau disebut *life cycle cost* (LCC) dan perhitungan biaya energi rata-rata atau disebut *levelized cost of energi* (LCOE). Tarif penjualan listrik yang telah diketahui sebelumnya digunakan untuk menganalisa kelayakan ekonomi dengan parameter, yaitu *Pay Back Periode* (PBP) dan *Net Present Value* (NPV).

A. Life Cycle Cost (LCC)

Life Cycle Cost atau disebut dengan biaya siklus hidup merupakan perhitungan yang mempertimbangkan total semua biaya pada suatu sistem pembangkit. Biaya yang dipertimbangkan meliputi biaya desain, bangunan, biaya operasi sistem, investasi awal, biaya perawatan, dan biaya pemeliharaan. Dengan demikian *life cycle cost* dapat dihitung menggunakan perasamaan sebagai berikut [9].

$$LCC = IC + SV + O\&M + NRC \quad (8)$$

Dimana:

LCC = Biaya Siklus Hidup *life cycle cost*

IC = Nilai saat ini dari biaya investasi awal *Investment Cost*

O&M = Biaya operasi dan perawatan selama umur proyek *Operation & Maintenance*

SV = Biaya pemasangan sistem dan pergantian komponen

NRC = Biaya lain diluar bahan bakar dan pemeliharaan

Berikut ini biaya investasi yang diperlukan untuk membangun sebuah sistem PLTS dengan konfigurasi *Off-Grid* dapat dilihat pada Tabel 7, Tabel 8 dan Tabel 9 sebagai berikut.

Tabel 7. Biaya awal sistem

No	Nama	Harga Satuan (Rp)	Jumlah	Total Harga (Rp)
1	Panel Surya	Rp 500.000	6	Rp 3.000.000
2	Baterai	Rp 2.250.000	1	Rp 2.250.000
3	<i>Solar Charge Controller</i> (PWM)	Rp 200.000	1	Rp 200.000
4	Inverter	Rp 550.000	1	Rp 550.000
5	Kabel + Support	Rp 1.500.000	1	Rp 1.500.000
Biaya Investasi Awal Sistem				Rp 7.500.000
Biaya Pemasangan Sistem				Rp 1.145.000
Total Biaya Investasi Awal Sistem				Rp 8.645.000

Tabel 8. Biaya penggantian komponen *lifetime* sistem 20 tahun

No	Nama	Lifetime (Tahun)	Harga Satuan (Rp)	Jumlah	Total Harga (Rp)
1	Baterai	5	Rp 2.250.000	3	Rp 6.750.000
2	SCC	5	Rp 200.000	3	Rp 600.000
3	Inverter	5	Rp 550.000	3	Rp 1.650.000
Total Biaya Penggantian Komponen Selama 20 tahun					Rp 9.000.000

Tabel 9. Biaya operation dan *maintenance*

No	Nama	Harga Satuan (Rp)	Jumlah (Tahun)	Total Harga (Rp)
1	Operation & Maintenance	Rp 500.000	20	Rp 10.000.000
Total Biaya Operation & Maintenance Selama 20 Tahun				Rp 10.000.000

Jika data dari biaya pada Tabel 7, Tabel 8 dan Tabel 9 maka dilanjutkan untuk menghitung LCC dibawah ini.

$$LCC = IC + O\&M + SV$$

$$LCC = 7.500.000 + 1.145.000 + 9.000.000 + 10.000.000$$

$$LCC = Rp. 27.645.000$$

Dari perhitungan diatas dapat diketahui *life*

cycle cost (LCC) dengan *lifetime* sistem PLTS selama 20 tahun senilai Rp. Rp27.645.000. Hasil dari perhitungan LCC sudah diketahui maka selanjutnya akan menghitung penentuan tarif penjualan listrik dari PLTS pada warung UMKM dengan menggunakan metode perhitungan *levelized cost of energi* (LCOE).

B. Levelized Cost of Energi (LCOE)

Levelized Cost of Energy (LCOE) atau biaya listrik rata-rata adalah biaya rata-rata per kWh energi listrik yang dihasilkan oleh sistem selama jangka waktu tertentu dengan memperhatikan biaya siklus hidup atau LCC. LCOE dihitung dengan membagi biaya keseluruhan sistem atau investasi *Life Cycle Cost* (LCC) selama umur pakai sistem, dengan total energi listrik yang dihasilkan oleh sistem pembangkit. Dengan demikian *Levelized Cost of Energy* dapat dihitung menggunakan persamaan sebagai berikut [9].

$$LCOE = \sum_{t=1}^n \frac{\frac{LCC}{(1+i)^t}}{\frac{E_t}{(1+i)^t}} \quad (9)$$

Dimana:

LCOE = Harga energi listrik (Rp/kWh)

LCC = Biaya siklus hidup Life Cycle Cost

Et = Total pembangkitan energi listrik yang dihasilkan (dalam kWh)

i = nilai suku bunga yang berlaku (%)

t = umur pakai sistem (tahun)

Sistem pembangkit listrik tenaga surya (PLTS) pada warung UMKM tersebut sebagai parameter yang digunakan untuk menghitung tarif penjualan listrik PLTS. Berdasarkan pengujian selama 7 hari didapatkan total daya yang di produksi oleh PLTS per harinya, total produksi listrik ini didapatkan dari jumlah daya yang masuk ke SCC selama pengukuran per jam dari jam 08.00 sampai pukul 16.00. berikut dapat dilihat total produksi listrik harian pada tabel di bawah ini.

Tabel 10. Produksi total harian pada plts
Total Produksi Energi Listrik Per Hari

Hari	Produksi Listrik	Satuan
Senin	1,439	kWh
Selasa	1,282	kWh
Rabu	1,186	kWh
Kamis	1,307	kWh

Jumat	1,450	kWh
Sabtu	1,415	kWh
Minggu	1,453	kWh
Total	3,906	kWh

Data pada Tabel 10 diatas dapat diketahui jumlah total daya listrik yang di produksi PLTS pada warung UMKM selama 7 hari sebesar 3,906 kWh. Maka didapatkan rata-rata per hari sebesar 1,362 kWh, jika 1 tahun sistem digunakan maka menghasilkan 497,007 kWh, sehingga dapat diketahui untuk produksi energi listrik PLTS pada warung UMKM selama *lifetime* sistem selama 20 tahun sebesar 9940,14 kWh.

Berikut adalah perhitungan *levelized cost of energi* (LCOE) untuk menentukan harga tarif jual listrik PLTS dengan menggunakan persamaan (9) sebagai berikut.

$$LCOE = \sum_{t=1}^n \frac{\frac{LCC}{(1+i)^t}}{\frac{E_t}{(1+i)^t}}$$

$$LCOE = \frac{\frac{27.645.000}{(1+0,035)^{20}}}{9940,14}$$

$$LCOE = \frac{27.645.000}{(1+0,035)^{20} \cdot 9940,14}$$

$$LCOE = \text{Rp. } 2781,14/\text{kWh}$$

Dari perhitungan LCOE diatas dapatkan hasil untuk tarif harga listrik pembangkit listrik tenaga surya pada warung UMKM sebesar Rp. 2781,14/kWh.

C. Pay Back Period (PBP)

Payback period adalah waktu yang diperlukan untuk pengembalian biaya investasi dari proyek yang sedang dikerjakan. Untuk mendapatkan nilai *payback period* dengan cara membagi total biaya investasi sistem dengan pendapatan yang dihasilkan oleh dalam setahun. *Payback period* dihitung dengan menggunakan persamaan berikut [9].

$$PBP = \frac{\text{(Investasi Awal)}}{\text{(Pendapatan Per Tahun)}} \quad (10)$$

Perhitungan *pay back period* (PBP) dapat dilakukan jika sudah diketahui total biaya investasi keseluruhan sistem dan nilai pendapatan selama 1 tahun, yaitu tarif penjualan listrik pada sistem PLTS sebesar Rp.2.781,14/kWh dikalkulasikan selama 1 tahun maka didapatkan hasil sebesar

Rp.1.382.245,47. Berikut ini merupakan perhitungan *pay back period* (PBP) menggunakan persamaan (10) sebagai berikut.

$$Pay\ Back\ Period = \frac{(Investasi\ Awal)}{(Pendapatan\ Per\ Tahun)}$$

$$Pay\ Back\ Period = \frac{Rp.\ 27.645.000}{Rp.\ 1.382.245,14}$$

$$Pay\ Back\ Period = 20,00$$

Perhitungan diatas didapatkan hasil untuk mengembalikan modal investasi keseluruhan biaya (LCC) diperlukan waktu selama 20 tahun dengan tarif penjualan listrik Rp. 2.781,14/kWh.

D. Net Present Value (NPV)

Net Present Value (NPV) merupakan parameter yang digunakan untuk menghitung selisih dari nilai investasi dengan nilai penerimaan kas bersih menggunakan suatu tingkat bunga yang berlaku. Kriteria penilaian kelayakan yaitu apabila nilai penerimaan total pendapatan kas bersih lebih besar dari investasi awal sistem investasi maka proyek dinyatakan menguntungkan, apabila total pendapatan kas bersih lebih kecil dari nilai investasi awal sistem maka proyek tidak menguntungkan. Berikut penilaian dari parameter *Net Present Value* [9].

- Apabila (NPV > 0) maka investasi yang dilakukan memberikan keuntungan dan layak untuk dijalankan.
- Apabila (NPV < 0) maka investasi yang dilakukan mengakibatkan kerugian dan tidak layak untuk dijalankan.

Net Present Value dapat dihitung menggunakan persamaan sebagai berikut [10]:

$$NPV = \sum_{t=1}^n \frac{C_t}{(1+i)^t} - C_0 \quad (11)$$

Dimana:

- C_t = Arus kas per tahun dalam periode t
- C_0 = Nilai investasi awal pada tahun ke-0
- i = Suku bunga atau *discount rate*
- t = Periode investasi

Dengan biaya investasi awal pembangkit listrik dilihat dari Tabel 7 tenaga surya (PLTS) pada warung UMKM yaitu sebesar Rp.8.645.000 dan data pendapatan pertahun dari penjualan energi yang diproduksi oleh

PLTS warung UMKM yaitu sebesar Rp.1.382.245,47 dengan tingkat suku bunga acuan kredit Bank Indonesia pada bulan Juni tahun 2022 yaitu sebesar 3,5% maka nilai dari NPV dilakukan pada excel untuk mengetahui *net cash flow* per tahunnya setelah itu dilanjutkan menggunakan menggunakan persamaan 11 sebagai berikut.

Tabel 11. Net Present Value PLTS Warung UMKM

No	Biaya Investasi Awal	Kas Masuk	Kas keluar	Arus Kas Bersih (NCF)	Discount Factor (3,5%)	(Present Value)	Kumulatif PV NCF
0	Rp 8.645.000				1,00	-Rp 8.645,00	0,00
1		Rp 1.382.245,47	Rp 500,00	Rp 882.245	0,9662	Rp 852,41108	Rp 852,41108
2		Rp 1.382.245,47	Rp 500,00	Rp 882.245	0,9335	Rp 823,58559	Rp 1.675,9667
3		Rp 1.382.245,47	Rp 500,00	Rp 882.245	0,9019	Rp 795,73486	Rp 2.471,7053
4		Rp 1.382.245,47	Rp 500,00	Rp 882.245	0,8714	Rp 768,82596	Rp 3.240,5013
5		Rp 1.382.245,47	Rp 500,00	Rp 882.245	0,8420	Rp 742,82701	Rp 3.983,3284
6		Rp 1.382.245,47	Rp 500,00	Rp 882.245	0,8135	Rp 717,70726	Rp 4.701,0356
7		Rp 1.382.245,47	Rp 500,00	Rp 882.245	0,7860	Rp 693,43696	Rp 5.394,4722
8		Rp 1.382.245,47	Rp 500,00	Rp 882.245	0,7594	Rp 669,98740	Rp 6.064,4596
9		Rp 1.382.245,47	Rp 500,00	Rp 882.245	0,7337	Rp 647,3383	Rp 6.711,7979
10		Rp 1.382.245,47	Rp 500,00	Rp 882.245	0,7089	Rp 625,44041	Rp 7.337,2383
11		Rp 1.382.245,47	Rp 500,00	Rp 882.245	0,6849	Rp 604,29025	Rp 7.941,5285
12		Rp 1.382.245,47	Rp 500,00	Rp 882.245	0,6618	Rp 583,85532	Rp 8.525,3838
13		Rp 1.382.245,47	Rp 500,00	Rp 882.245	0,6394	Rp 564,11142	Rp 9.089,5252
14		Rp 1.382.245,47	Rp 500,00	Rp 882.245	0,6178	Rp 545,0378	Rp 9.634,563
15		Rp 1.382.245,47	Rp 500,00	Rp 882.245	0,5969	Rp 526,60404	Rp 10.161,167
16		Rp 1.382.245,47	Rp 500,00	Rp 882.245	0,5767	Rp 508,79618	Rp 10.669,963
17		Rp 1.382.245,47	Rp 500,00	Rp 882.245	0,5572	Rp 491,59051	Rp 11.161,553
18		Rp 1.382.245,47	Rp 500,00	Rp 882.245	0,5384	Rp 474,96668	Rp 11.636,52
19		Rp 1.382.245,47	Rp 500,00	Rp 882.245	0,5202	Rp 458,90500	Rp 12.095,425
20		Rp 1.382.245,47	Rp 500,00	Rp 882.245	0,5026	Rp 443,38647	Rp 12.538,812

Dari pengolahan data menggunakan excel pada Tabel 11 diperoleh *present value net*

cash flow yang merupakan hasil perhitungan antara NCF dengan *discount factor* tiap tahunnya maka didapatkan nilai sebesar Rp.12.538.828,41. Maka dapat diketahui besar nilai NPV sampai tahun ke-20 sebagai berikut.

$$NPV = \sum_{t=1}^n \frac{C_t}{(1+i)^t} - C_0$$

$$NPV = \text{Rp.}12.538.828,41 - \text{Rp.}8.645.000$$

$$NPV = \text{Rp.} 3.893.828,41$$

Berdasarkan perhitungan NPV diatas didapatkan nilai sebesar Rp. 3.893.828,41 hal ini menunjukkan bahwa NPV bernilai positif (NPV > 0) maka proyek PLTS dapat dikatakan layak.

4. KESIMPULAN

Berdasarkan dari penelitian ini tentang analisis efisiensi konsumsi energi listrik panel surya untuk warung UMKM dengan metode instalasi atap langsung didapatkan kesimpulan sebagai berikut:

1. Pemasangan PLTS diwarung UMKM didapatkan beban harian sebesar 1710 Wh selama 10 jam atau 1,71 kWh. Maka dibutuhkan panel surya kapasitas 100 Wp *polycrystalline* sebanyak 6 buah yang dirangkai secara paralel, SCC dengan tipe PWM berkapasitas 60 A, baterai dengan jenis VLRA 12V 200Ah 1 buah, dan inverter dengan jenis *pure sine wave* kapasitas 1000 W 1 buah.
2. Setelah dilakukan pengujian didapatkan hasil efisiensi dari masing-masing komponen yaitu, didapatkan efisiensi panel surya sebesar 7,92 %, *solar charge controller* sebesar 70,00 %, baterai sebesar 72,35 %, dan inverter sebesar 95,92 %. Sedangkan untuk efisiensi penggunaan panel surya pada warung UMKM sebesar 82,90 %.
3. Dengan melakukan perhitungan metode LCC dapat diketahui total biaya selama *lifetime* sistem sebesar Rp.27.645.000 kemudian nilai harga tarif energi listrik menggunakan perhitungan LCOE didapatkan nilai sebesar Rp.2.781,14/kWh. Maka untuk pengembalian modal keseluruhan investasi *Pay Back Period* selama 20 tahun kemudian. Investasi untuk PLTS yang dilakukan pada warung UMKM dapat dikatakan layak karena mendapatkan nilai NPV sebesar Rp.

3.893.828,41 hal ini menunjukkan bahwa NPV bernilai positif (NPV > 0).

DAFTAR PUSTAKA

- [1] A. F. Sudarma, M. Kholil, S. Subekti, and I. Almahdy, "The Effect of Blade Number on Small Horizontal Axis Wind Turbine (HAWT) Performance : An Experimental and Numerical Study," *Int. J. Environ. Sci. Dev.*, vol. 11, no. 12, 2020, doi: 10.18178/ijesd.2020.11.12.1307.
- [2] I. A. Wibowo and D. Sebayang, "OPTIMIZATION OF SOLAR-WIND-DIESEL HYBRID POWER SYSTEM DESIGN USING," *Innov. Mech. Eng. Adv. Mater.*, vol. 1, no. 1, pp. 27–31, 2015, [Online]. Available: www.umb-intl-journal.com.
- [3] A. Murtono and I. Nugrahanto, "Analisa Beban Terhubung Solar Menengah Warung Internet," *J. Eltek*, pp. 135–150, 2019.
- [4] W. F. Octavian, R. Hidayat, and L. Nurpulaela, "Perancangan Umbrella Energy Sebagai Charger Handphone Pada Cafe," vol. 13, no. 2, pp. 82–85, 2020.
- [5] N. R. Alham, "Aplikasi Photovoltaic Cell (PV) Terhadap Variasi Beban Elektrik Sebagai Energi Alternatif," *JTE UNIBA*, vol. 5, no. 2, p. 123, 2021.
- [6] A. R. Hakim, W. Sarwono, and L. Assadad, "Perancangan Sistem Photovoltaic untuk Mesin Pembuat Es di Pelabuhan Perikanan Sadeng," *J. Nas. Tek. Elektro dan Teknol. Inf.*, vol. 7, no. 2, pp. 228–235, 2018, doi: 10.22146/jnteti.v7i2.427.
- [7] M. F. Hakim, "Perancangan Rooftop Off Grid Solar Panel Pada Rumah Tinggal," *J. Din. DotCOM*, vol. 8, no. 1, pp. 1–11, 2017.
- [8] B. D. Wasistha, B. Edward, M. Salam, and D. I. Wibawa, "Efisiensi Pembangkit Listrik Tenaga Surya Off Grid di Laboratorium Teknik Listrik Politeknik Negeri Jakarta Abstrak Prosiding Seminar Nasional Teknik Elektro Volume 6 Tahun 2021," vol. 6, pp. 2–8, 2021.
- [9] I. B. Ketut Sugirianta, I. Giriantari, and I. N. Satya Kumara, "Economic Analysis of Solar Electricity Rates using the Life Cycle Cost Method (Analisa Keekonomian Tarif Penjualan Listrik Pembangkit Listrik Tenaga Surya 1 MWp Bangli Dengan Metode Life Cycle Cost)," *Maj. Ilm. Teknol. Elektro*, vol. 15, no. 2, pp. 121–

- 126, 2016.
- [10] P. A. K. Ray, R. S. Wibowo, and F. A. Pamuji, "Studi Kelayakan Pemasangan PLTS 80 KW Pada Sistem Kelistrikan PT. Indonesia Kendaraan Terminal," J. Tek. ITS, vol. 10, no. 1, 2021, doi: 10.12962/j23373539.v10i1.59320.