



Perhitungan Kelayakan Ekonomi-Teknik untuk Pemasangan PLTS Atap pada Pelanggan Tarif Rumah Tangga (1300, 3500, 7700 VA) Sebagai Upaya Kemandirian Energi Bersih

Fajar Sidiq¹, Lingga Aditya Prayuda², Jerry Kurniawan³, Ahmad Caputra Wisesa⁴, Puput Tri Wijayanto⁵

¹Institut Teknologi PLN, Jakarta, Indonesia, fajar2310511@itpln.ac.id

²Institut Teknologi PLN, Jakarta, Indonesia, lingga2310514@itpln.ac.id

³Institut Teknologi PLN, Jakarta, Indonesia, jerry2310504@itpln.ac.id

⁴Institut Teknologi PLN, Jakarta, Indonesia, ahmad2310510@itpln.ac.id

⁵Institut Teknologi PLN, Jakarta, Indonesia, puput2310572@itpln.ac.id

Corresponding Author: fajar2310511@itpln.ac.id¹

Abstract: Electricity consumers must participate to reduce CO₂ emissions and not only depend on power plants to meet their electrical energy needs. The use of off-grid PV rooftops can be a solution to fulfill electricity needs independently and contribute to reducing CO₂ gas emissions. Off-grid PV rooftops are very likely to be applied in areas that have high solar energy potential, including Sidoarjo. This study was conducted to determine the economic-engineering feasibility of using off-grid PV rooftops in Sidoarjo for R1-1300 VA, R2-3500 VA, and R3-7700 VA customers. The economic feasibility study was based on the calculation of NPV, IRR, BCR, and payback period, while the technical feasibility study was conducted by calculating the performance ratio. The results show that technically, off-grid PV rooftop is feasible to be applied to all types of customers, with a performance ratio above 70%. From an economic perspective, off-grid rooftop PV is feasible for all R2-3500 VA and R3-7700 VA customers, while for R1-1300 VA customers it is only feasible for customers with a minimum bill of Rp 5,613,080 per year.

Keywords: Off-grid PV Rooftop, NZE, performa ratio, NPV, IRR

Abstrak: Konsumen tenaga listrik harus turut serta dalam upaya pengurangan emisi CO₂ dan tidak hanya bergantung pada pembangkit listrik dalam pemenuhan kebutuhan energi listrik mereka. Penggunaan PLTS atap *off-grid* dapat menjadi solusi untuk pemenuhan kebutuhan listrik secara mandiri dan tentunya turut andil dalam pengurangan emisi gas CO₂. PLTS atap *off-grid* sangat mungkin diaplikasikan di daerah yang memiliki potensi energi surya yang tinggi, termasuk Sidoarjo. Penelitian dilakukan untuk mengetahui kelayakan ekonomi-teknik penggunaan PLTS atap *off-grid* di Sidoarjo untuk pelanggan R1-1300 VA, R2-3500 VA dan R3-7700 VA. Studi kelayakan ekonomi didasarkan pada perhitungan nilai NPV, IRR, BCR dan *payback period*, sedangkan studi kelayakan teknis dilakukan dengan perhitungan *performa ratio*. Hasil penelitian menunjukkan bahwa secara teknis, PLTS atap *off-grid* layak

diaplikasikan pada semua tipe pelanggan, dengan performa ratio di atas 70%. Dari sisi ekonomis, PLTS atap *off-grid* layak diaplikasikan pada semua pelanggan R2-3500 VA dan R3-7700 VA, sedangkan untuk pelanggan R1-1300 VA hanya layak diaplikasikan pada pelanggan dengan tagihan minimal Rp 5.613.080,- per tahunnya.

Kata Kunci: PLTS atap *off-grid*, NZE, *performa ratio*, NPV, IRR

PENDAHULUAN

Saat ini semua negara berusaha mengurangi emisi gas CO₂ sebagai upaya untuk menekan laju pemanasan global. Berbagai langkah dilakukan, antara lain dengan pembangunan pembangkit listrik dengan energi terbarukan seperti PLTB, PLTA dan PLTS. Namun, seyogyanya usaha yang dilakukan tidak hanya pada sisi pembangkitan energi listrik saja, konsumen energi listrik juga harus memiliki usaha untuk mengurangi emisi gas CO₂ tersebut. Penggunaan PLTS atap baik secara *off-grid* maupun *on-grid* merupakan salah satu langkah yang dapat dilakukan. Hal tersebut baik untuk diaplikasikan di Indonesia, mengingat Indonesia adalah negara tropis dengan durasi penyinaran matahari yang lama. Selain dapat mengurangi emisi gas CO₂, penggunaan PLTS atap ini dapat menjadi alternatif bagi konsumen dalam hal pemenuhan kebutuhan energi listrik. Ketergantungan pada pembangkit listrik konvensional pun akan hilang sehingga konsumen dapat mendapatkan sumber energi yang mandiri dan tentunya lebih ramah lingkungan.

Sidoarjo adalah kota yang menjadi penyokong kota besar Surabaya. Potensi energi surya yang dimiliki pada wilayah tersebut cukup tinggi. Perumahan di sana tergolong padat dan beban listriknya juga beragam dan relatif cukup besar. Maka dengan memasang PLTS pada atap rumah diharapkan dapat memenuhi kebutuhan listrik setiap rumah secara mandiri. Pemasangan PLTS atap akan disesuaikan dengan kebutuhan listrik dari rumah bersangkutan. Hal ini berdasarkan pemakaian listrik selama 24 jam. Kebutuhan listrik setiap rumah tangga berbeda dengan lainnya, sehingga daya yang terpasang pun berbeda. Penggunaan energi listrik pelanggan rumah tangga cenderung stabil dari tahun ke tahun, adapun jika ada kenaikan nilainya tidak signifikan. Hal tersebut dipengaruhi oleh gaya hidup dari pemilik rumah. Kecenderungan ini memungkinkan pembangunan pembangkit listrik mandiri di rumah. Kebutuhan listrik cenderung stabil, namun harga listrik setiap tahunnya dapat berubah, sehingga pemasangan PLTS atap dapat menjadi sarana penghematan dari sisi keuangan. Pemasangan PLTS atap dapat dilakukan secara *off-grid* dengan memadukan PLTS atap dengan sistem penyimpanan baterai dan juga *hybrid on-grid* dengan suplai listrik dari PLN sebagai *back-up* dari penggunaan PLTS atap. Dalam penelitian ini akan difokuskan terkait kajian ekonomi-teknis penggunaan PLTS atap *off-grid* pada pelanggan rumah tangga dengan daya terpasang 1300 VA untuk jenis rumah tangga kecil (R1), 3500 VA untuk jenis rumah tangga menengah (R2) dan 7700 VA untuk jenis rumah tangga besar (R3) di Sidoarjo.

PLTS merupakan pembangkitan listrik yang memanfaatkan energi sinar matahari yang dikonversikan kedalam energi listrik. Penangkapan sinar matahari tersebut menggunakan sebuah panel surya (Goswami, 2015). Daya yang dibangkitkan juga bervariasi tergantung penggunaan panel PV yang digunakan. Skema PLTS ada dua yakni *off-grid* dan *on-grid*. Sistem PLTS *off-grid* adalah sebuah sistem pembangkitan PLTS yang tidak terhubung sama sekali dengan grid (Rafli, 2022), sedangkan PLTS *on-grid* adalah sistem yang terhubung dengan grid (Rafli, 2022). Skema ini disesuaikan dengan kebutuhan dan kehandalan dari sistem tersebut. Kelemahan dari PLTS ini adalah sifatnya yang intermiten tergantung dari kapasitas sinar matahari yang ada. Salah satu upaya untuk menanggulangi masalah tersebut adalah penambahan sistem BESS (*Battery Energy System Storage*). BESS dapat menunjang keberlanjutan suplai energi listrik walaupun dalam kondisi matahari tidak maksimal atau tidak ada (Kim, 2017).

Komponen PLTS terdiri dari Modul PV, *Solar Control Charger*, Inverter PV, Baterai.

a. Modul PV

Modul PV merupakan peralatan yang digunakan untuk menangkap cahaya matahari untuk dikonversikan ke energi listrik. Energi listrik yang dihasilkan adalah listrik DC. Pada modul PV terdapat banyak susunan sel solar yang merupakan terbuat dari bahan semikonduktor. Secara umum terdapat 3 jenis yakni polycrystalline, monocrystalline, dan thin film.

b. *Solar Control Charger*

Peralatan ini digunakan untuk memaksimalkan energi listrik yang dihasilkan oleh solar PV untuk menyuplai beban dan mengisi baterai. Sehingga sistem PLTS yang digunakan memiliki efisiensi energi yang lebih tinggi.

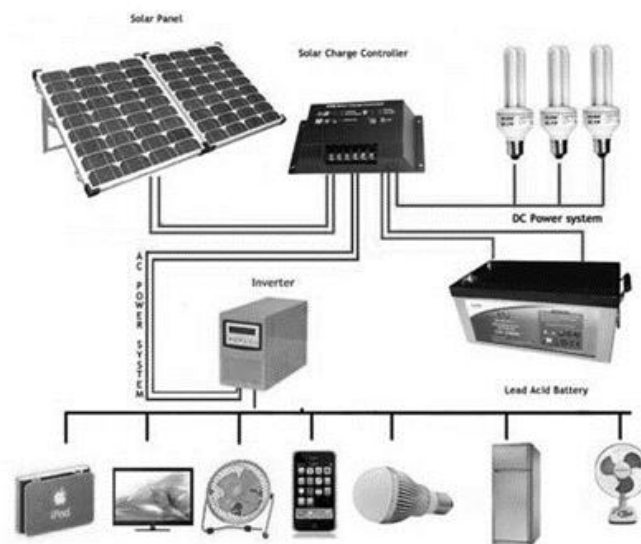
c. Inverter PV

Inverter adalah peralatan yang mengubah listrik DC menjadi listrik AC. Hal ini diperlukan karena rata-rata beban listrik yang ada membutuhkan suplai listrik AC.

d. Baterai

Baterai adalah media penyimpanan listrik. Secara umum baterai merupakan proses kimia yang menghasilkan energi listrik di dalamnya. Baterai yang digunakan mestinya mempunyai siklus hidup yang lama dan dapat diisi ulang.

Pemasangan PLTS diatas atap rumah harus tetap memiliki fleksibilitas dalam menangkap sinar matahari. Maka perlu dilakukan penyesuaian sudut kemiringan antara panel PV dengan kemiringan atap dari bangunan. Konstruksi ini juga harus memperhatikan keamanan dan ketahanan terhadap faktor-faktor lainnya termasuk angin (Sharma, 2016). PLTS atap *off grid* adalah sistem yang mandiri, tidak terhubung ke jaringan listrik utama (grid). Seperti yang ditunjukkan pada gambar 1, solar PV dapat digunakan untuk suplai peralatan dengan sumber DC langsung, atau jika untuk untuk menyuplai peralatan dengan sumber AC maka diperlukan inverter. PLTS *off-grid* juga dilengkapi dengan sistem baterai yang akan menyuplai energi listrik ketika solar PV tidak menghasilkan energi listrik.

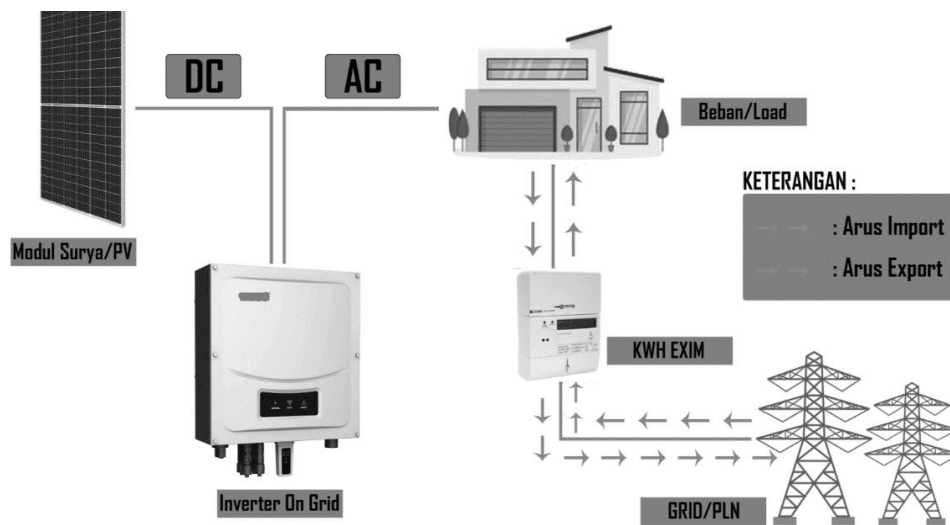


Gambar 1. Diagram Pemasangan PLTS Atap Off-grid

Sumber : “Optimasi kapasitas rooftop PV off grid energi surya berakselerasi di tengah pandemic covid-19 untuk diimplementasikan pada rumah tinggal.”, Partaonan Harahap dkk. Jurnal RESISTOR

Untuk PLTS atap *on-grid* (gambar 2), sistem terhubung juga dengan jaringan utama (grid), yang mana apabila sistem PLTS tidak dapat menghasilkan energi listrik maka suplai energi didapatkan dari jaringan utama. Sebaliknya jika PLTS menghasilkan energi listrik

yang lebih dari yang dibutuhkan, maka kelebihan energi tersebut dialirkan ke sistem jaringan utama.



Gambar 2. Diagram Pemasangan PLTS Atap On-Grid

Sumber : gppowerindo.co.id

METODE

Penelitian ini dilakukan dengan mengumpulkan data-data terkait profil badan dan besaran tagihan listrik bulanan dalam periode satu tahun untuk pelanggan rumah tangga di Sidoarjo, Jawa Timur. Tipe pelanggan yang diamati adalah tipe rumah tangga kecil (R1) 1300 VA, rumah tangga sedang (R2) 3500 VA dan rumah tangga besar (R3) 7700 VA dengan masing-masing tipe sebanyak 10 pelanggan. Dari data tersebut dan juga data terkait potensi energi surya yang didapatkan dari Global Star Altas (GSA) akan dilakukan perhitungan terkait kebutuhan apa saja yang diperlukan untuk membangun sistem PLTS atap *off-grid* untuk masing-masing pelanggan. Perhitungan dilakukan untuk menentukan jumlah solar PV, kapasitas inverter, kapasitas baterai, biaya instalasi, dan keperluan lain-lainnya, yang kemudian kesemuanya itu merupakan biaya investasi. Kemudian akan dikaji terkait kelayakan pembangunan PLTS atap tersebut dalam aspek teknis maupun aspek ekonomi. Dalam aspek teknis akan dilakukan perhitungan *Performa Ratio* PLTS (Pr). Sedangkan untuk aspek ekonomi dilakukan perhitungan NPV (*Net Present Value*), *pay back periode*, IRR (*Internal Rate of Return*), dan BCR (*Benefit-Cost Ratio*). Analisis dilakukan pada semua pelanggan untuk mengetahui layak atau tidaknya dibangunnya PLTS atap *off-grid* pada pelanggan tersebut dalam aspek teknis maupun ekonomi.

a. Kapasitas Inverter

Kapasitas yang dibutuhkan untuk pemasangan inverter dapat dihitung dengan persamaan sebagai berikut :

$$Inverter\ PV = \frac{DEC / Ratio\ peforma\ PV}{PSH \times PSH\ corection}$$

Ket: DEC = konsumsi energi listrik harian, PSH = rata-rata penyinaran matahari, Pmax = daya maksimum inverter.

b. Kapasitas Baterai

Kapasitas baterai yang digunakan haruslah memenuhi kebutuhan dan kondisi terburuk dari sistem PLTS atap tersebut (Suandi, 2018). Maka perlu diperhatikan yakni lamanya

kemampuan baterai untuk memenuhi kebutuhan listrik saat kondisi tanpa adanya pengisian dari PLTS atap.

$$\text{Kapasitas Batere} = \frac{ADL \times N}{DoD \times V_s \times \eta}$$

Ket: ADL = rata-rata pembebanan, N = hari otonomi, DoD = depth of discharge, V_s = tegangan nominal baterai.

c. Analisa Teknik

Perhitungan kelayakan teknis meliputi perhitungan efektifitas listrik AC (ACEGE) dalam % (persen) dan perhitungan Performa Ratio PLTS (Pr) dalam % (persen). Adapun formula perhitungan teknis tersebut adalah sebagai berikut :

$$ACEGE = \frac{Es}{GHI}$$

$$Pr = \frac{ACEGE}{Eff PV}$$

Ket: GHI adalah Global Incident Total (GHI) kWh/tahun dan Es adalah energi listrik yang diproduksi PLTS (kWh/tahun). Secara teknis PLTS atap ini dikatakan layak jika nilai Performa Ratio-nya melebihi 70%.

d. NPV (*Net Present Value*)

NPV merupakan seluruh cash flow bersih yang dinilai pada saat sekarang berdasarkan *discount rate* (DF). Faktor discount rate ini dihitung tahun ke-n dengan persamaan sebagai berikut :

$$DF = \frac{1}{(1 + i)^n}$$

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

Suatu investasi dikatakan baik apabila nilai $NPV > 0$ atau NPV bernilai positif.

e. *Payback Period*

Payback periode adalah waktu yang dibutuhkan untuk mendapatkan keuntungan berdasarkan nilai investasi yang dikeluarkan. *Payback periode* dapat dihitung dengan persamaan berikut :

$$PP = \frac{LCC}{P}$$

Ket: P = profit atau keuntungan, LCC = nilai investasi yang dikeluarkan.

f. *Internal Return Ratio* (IRR)

IRR merupakan persentasi laba ada keuntungan yang didapatkan setiap tahunnya yang dibandingkan dengan nilai investasi atau pengeluaran pada waktu tahun awal. Perhitungan nilai IRR ini dapat digunakan persamaan berikut :

$$IRR = i1 + \frac{NPV_1}{(NPV_1 - NPV_2)}(i2 - i1)$$

Nilai IRR dikatakan baik apabila bernilai melebihi dari discount rate setiap tahunnya atau mendekati 2 kali dari *discount rate*.

g. *Benefit Cost Ratio* (BCR)

Analisa *Benefit Cost Ratio* (BCR) merupakan perbandingan nilai sekarang arus kas masuk (PV *cash inflow*) dengan nilai sekarang arus kas keluar (PV *cash outflow*) (Asrori, 2022). Metode BCR memberikan penekanan terhadap nilai perbandingan antara aspek manfaat (*benefit*) yang akan diperoleh dengan aspek biaya dan kerugian yang akan ditanggung (*cost*) dengan adanya investasi tersebut.

$$BCR = \frac{Benefit (B)}{Cost (C)}$$

Kriteria keputusan untuk mengetahui apakah suatu rencana investasi layak ekonomis atau tidak layak menggunakan metode ini adalah sebagai berikut :

- B/C > 1, investasi layak (*feasible*)
- B/C < 1, investasi tidak layak (*unfeasible*)

HASIL DAN PEMBAHASAN

Sebelum dilakukan perhitungan nilai investasi, maka perlu dilakukan perhitungan secara teknis terkait pemasangan PLTS atap *off-grid* terlebih dahulu. Dalam perhitungan teknis ini diperlukan beberapa parameter terkait potensi energi matahari yang dapat digunakan sebagai sumber energi PLTS pada wilayah Sidoarjo. Data tersebut didapatkan dari sumber Global Solar Atlas (GSA), seperti yang ditunjukkan pada tabel 1. Sidoarjo memiliki potensi energi matahari yang memadai, dimana potensi rata-rata di daerah Sidoarjo dapat menghasilkan energi listrik sebesar 1.530,5 kWh/m²/tahun.

Tabel 1. Data Potensi dan Tingkat Iradiasi Wilayah Sidoarjo

Parameter	Singkatan	Nilai	Satuan
<i>Direct normal irradiation</i>	DNI	1.530,5	kWh/m ² /year
<i>Global horizontal irradiation</i>	GHI	1.992,0	kWh/m ² /year
<i>Diffuse horizontal irradiation</i>	DIF	870,9	kWh/m ² /year
<i>Global tilted irradiation at optimum angle</i>	GTI_opta	2.031,8	kWh/m ² /year
<i>Air temperature</i>	TEMP	27,1	°C
<i>Optimum tilt of PV modules</i>	OPTA	13	°
<i>Terrain elevation</i>	ELE	-	m
<i>Tilt of PV modules</i>	OPTA	-	°

Sumber: Global Solar Atlas (GSA)

Perhitungan teknis dilakukan untuk mengetahui jumlah panel PV, jumlah baterai, kapasitas inveter serta komponen teknis lainnya yang diperlukan untuk tiap tipe pelanggan dapat mengaplikasikan PLTS atap *off-grid*. Nilai kebutuhan dari tiap tipe pelanggan tentunya akan berbeda. Semakin tinggi daya aktif harian rata-rata yang diperlukan oleh pelanggan maka kebutuhan akan komponen teknis PLTS atap pun akan semakin banyak, seperti yang ditunjukkan pada tabel 2. Adapun data yang ditampilkan pada tabel adalah data dari salah satu pelanggan untuk masing-masing tipe daya.

Tabel 2. Data dan Perhitungan Teknik Kebutuhan dalam Pemasangan PLTS Atap *Off-grid*

Kapasitas PLN (VA)	R1-1300	R2-3500	R3-7700
Daya Aktif Harian Rata-rata (Watt)	1.644	2.973	4.038
<i>Safety Factor</i> ,10% (Watt)	1.808	3.270	4.442
Kapasitas Inverter, lebih 30% (Watt)	2.137	3.864	5.250
Daya panel PV (Wp)	440	440	440
Jumlah panel PV	5	8	11
Daya total PV (Wp)	2.200	3.520	4.840
Luas panel PV (1,95 m ²)/m ²	9,65	15,44	21,23
Modul Effisiensi (%)	22,80	22,80	22,80
Kapasitas MCB PLN (A)	6	16	35
Penggunaan Baterai (Jam)	12	12	12
Beban Harian Rata-rata (Wh/hari)	9.863,89	17.836,11	24.230,56
<i>Days of autonomy</i> (hari)	3	3	3
DOD battery (%)	80	80	80
Effisiensi baterai (%)	85	85	85
V baterai (volt)	51,2	51,2	51,2
Rate kapasitas baterai (Ah)	100	100	100
Ah Battere <i>Off-grid</i>	849,94	1536,89	2087,88
Jumlah baterai	8	15	20

Analisa kelayakan teknis pembangunan PLTS atap *off-grid* dilakukan dengan menghitung nilai perfoma ratio dari tiap PLTS yang terpasang pada masing-masing tipe daya pelanggan. Sebelum mendapatkan nilai performa ratio maka perlu dilakukan perhitungan terlebih dahulu terhadap nilai efektifitas listrik AC (ACEGE). Performa ratio dari pemasangan PLTS atap untuk semua tipe pelanggan pada sampel nilainya 71,39 %, seperti yang ditunjukkan pada tabel 3. Nilai tersebut termasuk tinggi untuk sebuah pembangkit tenaga surya (diatas 70%), sekaligus menunjukkan bahwa pemasangan PLTS atap *off-grid* dengan komposisi yang disebutkan pada tabel 2 layak diaplikasikan secara teknis.

Tabel 3. Perhitungan Efisiensi dan Performa Ratio dari PLTS Atap yang Terpasang

Kapasitas PLN (VA)	R1-1300	R2-3500	R3-7700
Daya terpasang gedung (kWp)	2,200	3,520	4,840
Energi listrik diproduksi PLTS, Es (kWh/tahun)*	3.128,97	5.006,36	6.883,74
<i>Global Incident Total</i> , GHI (kWh/tahun)	19.222,8	30.756,48	42.290,16
Efektifitas listrik AC, ACEGE (%)	16,28	16,28	16,28
<i>Performa ratio</i> PLTS atap (Pr) %	71,39	71,39	71,39

*efisiensi keluaran dari PLTS diasumsikan 70%

Untuk perhitungan kelayakan ekonomi penggunaan PLTS atap *off-grid* untuk tiap tipe pelanggan ditunjukkan pada tabel 4 hingga tabel 6. Pada penelitian ini dilakukan perhitungan pada 10 pelanggan R1-1300 VA, 10 pelanggan R2-3500 VA dan 10 pelanggan R3-7700 VA dengan pemakaian setiap bulan dan langgam pemakaian yang berbeda-beda. Perhitungan kelayakan ekonomi dilakukan dengan menghitung nilai NPV, IRR, *payback periode* dan *benefit cost ratio* (B/C). Dengan perhitungan empat hal tersebut dapat diketahui secara ekonomi apakah pembangunan PLTS atap *off-grid* tersebut layak dilakukan atau tidak. Nilai lama pengembalian modal (*payback period*) ditentukan selama maksimal 25 tahun untuk dikatakan layak. Dari perhitungan yang dilakukan pembangunan PLTS atap *off-grid* tidak semuanya layak untuk semua tipe pelanggan. Pada pelanggan R1-1300 VA, dari 10

pelanggan, yang layak menggunakan PLTS atap *off-grid* hanya 4 pelanggan, sedangkan 6 pelanggan lainnya tidak layak. Pelanggan yang layak menggunakan PLTS atap *off-grid* mempunyai tagihan listrik minimal Rp 5.613.080,- per tahun. Pada pelanggan tersebut didapatkan nilai NPV positif yakni Rp 363.728,- dan nilai IRR nya 6,10%, diatas 6% yang merupakan suku bunga awal, namun belum mencapai 2 kali *discount rate*. Nilai BCR nya 1,01 dengan lama pengembalian modal selama 24,52 tahun. Pada pelanggan dengan tagihan per tahunnya Rp 4.739.164,- atau dibawahnya tidak layak menggunakan PLTS atap *off-grid*. Nilai NPV nya negatif, BCR nya dibawah 1 dan *payback period*-nya diatas 25 tahun.

Tabel 4. Perhitungan Kelayakan Ekonomi PLTS Atap Off-grid Pelanggan R1-1300 VA

Parameter	Daya PV (Wp)	Tagihan per tahun (ribu)	NPV – Rp (ribu)	IRR (%)	B/C	Payback Periode (years)	LAIK/TIDAK
Pelanggan 1	3.520	9.663	14.784	8,36	1,14	17,49	LAIK
Pelanggan 2	1.760	4.739	-1.198	0,00	0,98	26,80	TIDAK
Pelanggan 3	2.200	5.613	383	6,10	1,01	24,52	LAIK
Pelanggan 4	880	2.473	-5.244	0,00	0,86	41,68	TIDAK
Pelanggan 5	2.640	6.988	5.502	7,18	1,07	20,31	LAIK
Pelanggan 6	880	2.163	-9.205	0,00	0,75	63,02	TIDAK
Pelanggan 7	880	2.624	-3.315	0,00	0,91	34,49	TIDAK
Pelanggan 8	880	2.288	-7.616	0,00	0,79	53,09	TIDAK
Pelanggan 9	880	1.949	-9.080	0,00	0,73	67,73	TIDAK
Pelanggan 10	2.640	7.989	12.572	8,42	1,14	17,23	LAIK

Pada tipe pelanggan 3500 VA dan 7700 VA dengan masing-masing 10 pelanggan, nilai kelayakan ekonomis untuk penggunaan PLTS atap *off-grid* baik, seperti yang ditunjukkan pada tabel 5 dan 6. Pada tipe pelanggan 3500 VA, pelanggan dengan tagihan listrik Rp 5.951.551,- per tahun mempunyai nilai NPV sebesar Rp 5.694.024,- dan IRR 7,42% serta nilai BCR sebesar 1,08 dengan *payback period* dibawah 20 tahun yakni 19,55 tahun. Sedangkan pada tipe pelanggan 7700 VA, pelanggan dengan tagihan listrik Rp 7.829.799,- per tahun mempunyai nilai NPV sebesar Rp 2.330.235,- dan IRR 6,43% serta nilai BCR 1,02 dengan *payback period* 23,12 tahun. Pelanggan yang mempunyai tagihan bulannya lebih tinggi, baik itu tipe pelanggan 3500 VA ataupun 7700 VA, tentunya akan semakin layak secara ekonomi untuk menggunakan PLTS atap *off-grid*.

Tabel 5. Perhitungan Kelayakan Ekonomi PLTS Atap Off-grid Pelanggan R2-3500 VA

Parameter	Daya PV (Wp)	Tagihan per tahun (ribu)	NPV – Rp (ribu)	IRR (%)	B/C	Payback Periode (years)	LAIK/TIDAK
Pelanggan 1	3.520	11.948	32.528	10,50	1,27	13,01	LAIK
Pelanggan 2	4.840	16.712	56.047	11,72	1,36	11,81	LAIK
Pelanggan 3	5.280	17.757	59.823	11,74	1,36	11,73	LAIK
Pelanggan 4	4.840	17.273	60.347	11,92	1,38	11,09	LAIK
Pelanggan 5	13.200	46.618	198.780	13,80	1,50	11,48	LAIK
Pelanggan 6	4.840	16.827	57.523	11,81	1,37	11,48	LAIK
Pelanggan 7	1.760	5.951	5.694	7,42	1,08	19,55	LAIK
Pelanggan 8	2.200	7.308	10.585	8,24	1,13	17,40	LAIK
Pelanggan 9	2.200	7.714	15.769	9,28	1,19	15,13	LAIK
Pelanggan 10	6.600	22.603	81.529	12,43	1,39	11,78	LAIK

Tabel 6. Perhitungan Kelayakan Ekonomi PLTS Atap Off-grid Pelanggan R3-7700 VA

Parameter	Daya PV (Wp)	Tagihan per tahun (ribu)	NPV – Rp (ribu)	IRR (%)	B/C	Payback Periode (years)	LAIK/TIDAK
Pelanggan 1	6.600	24.936	99.298	12,99	1,45	11,31	LAIK
Pelanggan 2	2.200	8.128	6.144	7,13	1,06	20,51	LAIK
Pelanggan 3	2.200	7.829	2.330	6,43	1,02	23,12	LAIK
Pelanggan 4	7.480	27.744	107.416	10,71	1,43	10,46	LAIK
Pelanggan 5	12.760	49.755	239.299	11,63	1,60	8,94	LAIK
Pelanggan 6	6.600	24.539	91.359	10,55	1,41	11,20	LAIK
Pelanggan 7	6.160	24.570	104.219	11,08	1,50	10,05	LAIK
Pelanggan 8	2.200	7.922	6.380	7,12	1,07	20,19	LAIK
Pelanggan 9	8.800	34.966	162.362	11,47	1,57	9,70	LAIK
Pelanggan 10	4.840	17.840	61.289	10,25	1,37	11,39	LAIK

KESIMPULAN

Berdasarkan perhitungan performa ratio, penggunaan PLTS atap *off-grid* layak secara teknis untuk diaplikasi pada semua tipe pelanggan R1-1300 VA, R2-3500 VA dan R-37700 VA. Sedangkan secara ekonomi, berdasarkan perhitungan NPV, IRR, BCR dan *payback period*, tidak semua pelanggan layak menggunakan PLTS atap *off-grid*. Pada tipe pelanggan R1-1300 VA dikatakan layak jika biaya tagihan listriknya minimal Rp 5.613.080,- per tahun. Pada tipe pelanggan R2-3500 VA dan R3-7700 VA yang notabene penggunaan energi listrik dan besaran tagihan per tahun-nya lebih besar, maka layak secara ekonomi untuk menggunakan PLTS atap *off-grid*. Biaya tagihan listrik ini nantinya akan menjadi saving money bagi pelanggan yang menggunakan PLTS atap *off-grid*.

REFERENSI

Akpolat, A. N., Dursun, E., & Kuzucuoğlu, A. E. (2019). Performance analysis of a grid-connection rooftop solar photovoltaic system.

Asrori, A., Fajar, A., & Wahyu, P. (2022). Kajian kelayakan solar rooftop on-grid untuk kebutuhan listrik bengkel mesin di Polinema.

Firaldi, F. R., Seto, R., & Anam, S. (2023). Studi kelayakan teknis dan ekonomi pemasangan PLTS atap on-grid pada sistem kelistrikan gedung perpustakaan ITS.

Goswami, D. Y. (2015). Principles of solar engineering (3rd ed.).

Hajir, N., Haddin, M., & Suprajitno, A. (2022). Analisa perencanaan pembangkit listrik tenaga surya atap dengan sistem hybrid di PT. Koloni Timur.

Iswanjono, I., & Tjendro, T. (2022). Studi kelayakan sistem PLTS atap on-grid 1000 WP pada pelanggan listrik PLN 900VA R1M.

Kim, Y., & Zhao, J. (2017). Power management strategy for residential housing connected to the rooftop solar PV. In IEEE conference proceedings.

Osman, N. (2015). Calculating kilowatt-hours solar panels produce. Retrieved December 2015, from <http://understandsolar.com/calculating-kilowatt-hours-solar-panels-produce/>

Pawenary, P., Khairunnisyah, P., & Pradana, A. E. (2022). Analisa studi kelayakan pembangunan PLTS 10 kWp di Graha YPK PLN.

Rafli, R., Ilham, J., & Salim, S. (2022). Perencanaan dan studi kelayakan PLTS rooftop pada gedung Fakultas Teknik UNG.

Roy, P., Arafat, Y., Upama, M. B., & Hoque, A. (2012). Technical and financial aspects of solar PV system for city dwellers of Bangladesh where green energy installation is mandatory to get utility power supply. In Proceedings of the 7th International Conference on Electrical and Computer Engineering (ICECE) (pp. 916–919).

- Satrio, D. A., Windarta, J., & Saptadi, S. (2020). Studi perancangan pembangkit listrik tenaga surya rooftop kapasitas 1215 WP dengan sistem on-grid skala rumah tangga studi kasus perumahan Sambiroto Asri Kota Semarang ditinjau dari teknis dan ekonomi teknik.
- Sharma, P., Bojja, H., & Yemula, P. (2016). Techno-economic analysis of off-grid rooftop solar PV system.
- Soedjarwanto, N., & Komalasari, E. (2020). Studi kelayakan pembangkit listrik tenaga surya (PLTS) dengan baterai dan terhubung grid di Nias, Sumatera Utara.
- Suandi, S., & Chayati, N. (2018). Studi kelayakan finansial pada proyek pembangunan pembangkit listrik tenaga minihidro (PLTM) Pongkor.
- Widodo, A., & Ramdhani, R. (2021). Analisis unjuk kerja sistem PLTS di Bendungan Jatibaring Semarang (Skripsi).