

Analisis Kelayakan Ekonomi dan *Self-Consumption* dari PLTS On-Grid dan Hibrid Kapasitas 1328 kWp

Osea Zebua¹, Nugraha Wijayawardhana², Zulmiftah Huda³

Jurusan Teknik Elektro Universitas Lampung, Bandar Lampung
Jl. Prof. Sumantri Brojonegoro No.1 Bandar Lampung 35145

¹osea.zebua@eng.unila.ac.id

²nugraha.wijayawardhana@students.unila.ac.id

³zulmiftah.huda@eng.unila.ac.id

Intisari — Energi surya merupakan sumber energi alternatif dalam memenuhi kebutuhan energi listrik. Di Indonesia, pembangkit listrik tenaga surya (PLTS) atap sudah banyak digunakan untuk memenuhi kebutuhan energi listrik masyarakat. Namun, kebijakan pemerintah untuk membatasi penggunaan energi surya dari PLTS atap untuk melayani beban listrik di sektor industri serta tidak mengizinkan ekspor energi ke jaringan listrik umum (grid) membuat rumah tangga dan produsen penyedia energi listrik (prosumer) harus memaksimalkan *self-consumption* (konsumsi sendiri) dari energi surya dan mempertimbangkan kelayakan ekonomis instalasi PLTS atap. Makalah ini bertujuan untuk menganalisis kelayakan ekonomi dan konsumsi mandiri PLTS atap tipe on-grid dan hibrid baik dengan beban 15% maupun dengan beban aktual. Studi kasus yang digunakan adalah PLTS berkapasitas 1.328,29 kWp dengan beban listrik dan produksi panel surya selama dua bulan digunakan sebagai pola beban listrik dan produksi panel surya selama setahun. Kelayakan ekonomi dianalisis dengan menghitung parameter-parameter kelayakan ekonomis untuk kedua jenis PLTS atap, antara lain *net present value* (NPV), *internal rate return* (IRR), *profitable index* (PI) dan *payback period* (PBP). Simulasi dilakukan dengan pemrograman menggunakan bahasa pemrograman Python. Hasil simulasi menunjukkan bahwa tingkat *self-consumption* semakin besar bila beban listrik yang dilayani semakin besar dan juga bila menggunakan baterai (PLTS hibrid). Semakin besar nilai *self-consumption* maka semakin besar pula kelayakan ekonomi dari PLTS atap yang akan dibangun. Secara keseluruhan, PLTS atap on-grid secara ekonomis lebih layak untuk dipasang.

Kata kunci — on-grid, hibrid, kelayakan ekonomi, konsumsi sendiri, pembangkit listrik tenaga surya atap.

Abstract — Solar energy is an alternative energy source to meet electrical energy needs. In Indonesia, rooftop solar power plants (PLTS) are widely used to meet people's electrical energy needs. However, the government's policy of limiting the use of solar energy from rooftop PLTS to serve electricity loads in the industrial sector and not allowing energy exports to the public electricity network (grid) means that households and producers providing electrical energy (prosumers) must maximize their own consumption (self-consumption) from solar energy and consider the economic feasibility of installing rooftop solar power plants. This paper aims to analyse the economic feasibility and independent consumption of on-grid and hybrid type rooftop PLTS both with 15% load and with actual load. The case study used is a PLTS with a capacity of 1,328.29 kWp with electricity load and solar panel production for two months used as a pattern for electricity load and solar panel production for a year. Economic feasibility is analysed by calculating economic feasibility parameters for the two types of rooftop PLTS, including net present value (NPV), internal rate return (IRR), profitable index (PI) and payback period (PBP). The simulation is carried out by programming using the Python programming language. The simulation results show that the level of self-consumption is greater when the electricity load served is greater and also when using batteries (hybrid PLTS). The greater the self-consumption value, the greater the economic feasibility of the rooftop PLTS to be built. Overall, on-grid rooftop solar PV is more economically feasible to install.

Keywords — On-grid, hybrid, economic feasibility, self-consumption, rooftop solar power plant.

I. PENDAHULUAN

Dalam beberapa tahun terakhir, energi surya telah memainkan peran penting dalam pemenuhan kebutuhan energi listrik masyarakat. Selain ramah lingkungan, energi surya secara alami dapat diperbarui dengan cepat dan

melimpah di alam. Di banyak negara termasuk di Indonesia, pembangkit listrik tenaga surya (PLTS) telah dimanfaatkan sebagai sumber energi listrik di sektor rumah tangga dan industri. Disebabkan keterbatasan lahan, kebanyakan PLTS tersebut dibangun dalam bentuk PLTS atap, yang dimiliki oleh rumah

tangga (individu) atau perusahaan penyedia energi listrik dari energi surya (prosumer).

Namun kebijakan pemerintah pada saat ini melarang ekspor energi listrik dari PLTS atap dan hanya membolehkan prosumer untuk melayani beban industri maksimal sebesar 15% [1]. Kebijakan ini berbeda dengan kebijakan sebelumnya yang membolehkan sepenuhnya ekspor energi listrik ke jaringan umum penyedia tenaga listrik (grid) [2]. Oleh karena itu, rumah tangga dan prosumer harus mempertimbangkan kebijakan pemerintah saat ini dan juga kelayakan ekonomis di dalam pemasangan PLTS atap.

Dalam pengoperasiannya terdapat tiga jenis PLTS, yaitu PLTS on-grid, PLTS off-grid, dan PLTS hibrid. Pada PLTS on-grid, sistemnya menggunakan panel surya yang bekerja langsung untuk memenuhi kebutuhan daya listrik dan sistem ini terhubung dengan grid (jaringan listrik umum). Sistem ini tidak menggunakan baterai sebagai tempat menyimpan energi matahari serta sebagai sumber tenaga untuk beban listrik. PLTS off-grid adalah sistem pembangkit listrik yang tidak terhubung ke jaringan listrik, kadang-kadang disebut pembangkit listrik tenaga surya yang berdiri sendiri. Pada PLTS hibrid, sistemnya terhubung langsung ke jaringan listrik dan menggunakan baterai sebagai penyimpan energi listrik yang digunakan untuk melayani beban saat tidak terhubung ke jaringan listrik (off-grid).

Dengan keterbatasan dari panel surya serta kebijakan pemerintah saat ini, maka sistem PLTS atap harus terhubung ke grid dalam melayani beban listrik. Oleh karena itu, jenis PLTS atap yang sesuai dipasang adalah PLTS on-grid dan PLTS hibrid.

Semakin besar tingkat konsumsi sendiri panel surya juga memperbesar kelayakan ekonomis dari suatu sistem PLTS. Konsumsi sendiri panel surya dapat ditingkatkan dengan penambahan baterai pada sistem PLTS-nya. Penggunaan baterai dengan kapasitas yang optimal dapat meningkatkan self-consumption. Hubungan self-consumption dan biaya sekarang bersih serta self-consumption dan biaya pengeluaran energi adalah polynomial orde 3 [3]. Penggunaan baterai pada sistem rumah dengan panel surya dapat meningkatkan penggunaan energi mandiri hingga 70% tergantung pada

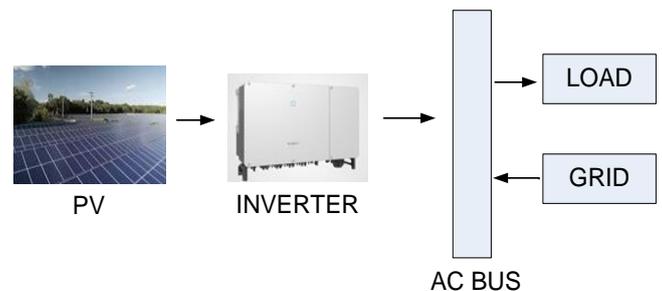
ukuran sistem dan kebiasaan pengguna. Analisis tekno ekonomis menunjukkan bahwa sistem baterai rumah walaupun relatif lebih mahal namun dapat meningkatkan penghematan biaya energi listrik dalam jangka waktu yang lama dan pada kebanyakan kasus dapat menghemat sampai 30% dibandingkan dengan biaya listrik sistem konvensional [4]. Selain itu pula pembangkit listrik tenaga surya dengan kapasitas yang besar dapat memberikan keuntungan ekonomi yang lebih baik daripada pembangkit listrik tenaga surya dengan kapasitas yang kecil [5],[6].

Pada makalah ini analisis kelayakan ekonomis dan *self-consumption* dilakukan pada sistem PLTS atap dengan jenis on-grid dan jenis hibrid. Studi kasus yang digunakan adalah PLTS atap dengan kapasitas 1328 kWp. Beban aktual dan produksi energi dari panel surya dengan durasi antara jam 7 pagi sampai dengan jam 17 sore digunakan sebagai data dari sistem PLTS .

II. METODOLOGI

A. Pemodelan PLTS

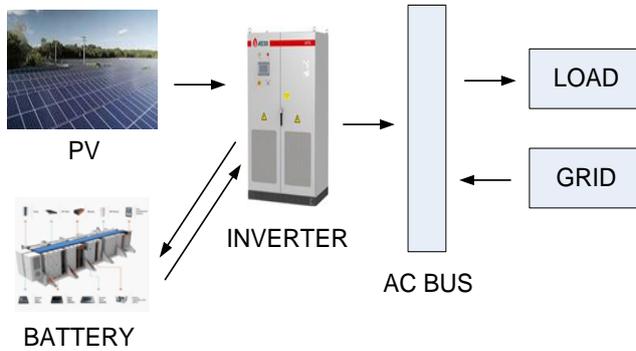
PLTS dengan jenis on-grid terdiri dari panel surya (PV), inverter dan suatu bus AC yang menghubungkan inverter dengan beban dan grid. Energi listrik arus searah (DC) dari energi surya diubah ke menjadi energi listrik arus bolak-balik (AC) menggunakan inverter. Energi listrik AC ini kemudian dikirim ke suatu bus AC untuk melayani beban listrik (*load*) yang umumnya membutuhkan energi listrik AC. Energi listrik AC dari grid disuplai ke beban listrik saat kebutuhan beban lebih besar dari produksi panel surya dan pada saat panel surya tidak menghasilkan energi listrik.



Gbr 1. PLTS on-grid

PLTS jenis hibrid terdiri dari panel surya, inverter hibrid, baterai dan suatu bus AC yang menghubungkan inverter dengan beban dan grid.

Baterai berfungsi untuk tempat penyimpanan energi listrik yang diperoleh dari panel surya maupun untuk mengirimkan energi listrik ke beban. Inverter hibrid berfungsi untuk mengubah energi listrik DC dari panel surya dan baterai ke energi listrik AC sekaligus menyimpan energi listrik DC dari panel surya ke baterai [7]-[9].



Gbr 2. PLTS Hibrid

Untuk menghitung energi konsumsi sendiri (*self-consumption*) pada PLTS on-grid, maka digunakan persamaan (1) dan persamaan (2), yakni jika produksi panel surya lebih besar dari kebutuhan beban, maka:

$$E_{SC} = E_{load} \quad (1)$$

dan jika produksi panel surya lebih kecil dari kebutuhan beban, maka:

$$E_{SC} = P_{PV} \times \eta_{inv} \times \Delta t \times 6 \quad (2)$$

Sehingga tingkat konsumsi sendiri (*SCR/self-consumption rate*) dihitung dengan persamaan (3) berikut ini:

$$SCR = \frac{E_{SC}}{P_{PV} \times \eta_{inv} \times \Delta t \times 6} \times 100\% \quad (3)$$

dan SSR (*self-sufficiency rate*) dihitung dengan persamaan (4), yakni:

$$SSR = \frac{E_{SC}}{E_{load}} \times 100\% \quad (4)$$

Jumlah energi dari inverter ke grid atau daya yang dijual (diekspor) ke grid, maka dapat dihitung dengan persamaan (5) dan persamaan (6), yakni jika produksi panel surya lebih besar dari kebutuhan beban, maka:

$$E_{tograd} = R_{PV} = \left[P_{PV} - \left(\frac{P_{load}}{\eta_{inv}} \right) \right] \times \Delta t \times 6 \quad (5)$$

dan jika produksi panel surya lebih kecil dari kebutuhan beban, maka:

$$E_{tograd} = R_{PV} = 0 \quad (6)$$

Energi yang digunakan dari grid ke beban dihitung dengan persamaan:

$$E_{grid} = P_{load} \times \Delta t \times 6 - E_{sc} \quad (7)$$

dimana E_{SC} adalah energi konsumsi sendiri per tahun, daya listrik produksi panel surya, E_{load} adalah energi beban listrik per tahun, P_{PV} adalah daya dari panel surya, η_{inv} adalah efisiensi inverter, P_{load} adalah daya aktif beban dan E_{tograd} adalah energi yang dijual ke grid dan $\Delta t \times 6$ adalah step waktu dengan pola produksi panel surya dan kebutuhan beban selama dua bulan.

B. Perhitungan Kapasitas Baterai

Rumus matematika untuk menghitung kapasitas baterai ditulis sebagai berikut:

$$C_{batt} = \frac{E_{residue}}{DoD \times \eta_{batt} \times V} \quad (8)$$

where C_{batt} adalah kapasitas baterai (kAh), $E_{residue}$ adalah energi residu dari panel surya (kWh), DoD adalah *Depth of Discharge*, η_{batt} adalah efisiensi baterai dan V adalah tegangan baterai.

Besarnya daya dari inverter ke jaringan atau daya yang dijual ke jaringan adalah mencari sisa produksi panel surya yang digunakan untuk beban dikurangi sisa energi panel surya untuk disimpan ke baterai. Jika keadaan pengisian baterai (*SOC/state of charge*) lebih besar dari kapasitas baterai, maka:

$$E_{tograd} = (SOC - C_{batt}) \times \Delta t \times 6 \quad (9)$$

dan jika SOC lebih kecil dari kapasitas baterai, maka:

$$E_{tograd} = 0 \quad (10)$$

Untuk mengetahui energi dari jaringan ke beban yaitu energi beban dikurangi energi dari inverter ke beban atau dikonsumsi sendiri, atau

$$E_{grid} = (R_{loadpv} - Batt_{load}) \times \Delta t \times 6 \quad (11)$$

dimana R_{loadpv} adalah beban residu setelah disuplai oleh baterai, $Batt_{load}$ adalah beban yang dilayani oleh baterai, dan Δt adalah langkah waktu.

C. Perhitungan Analisis Kelayakan Ekonomis

Parameter-parameter yang menentukan kelayakan ekonomi dari suatu PLTS atap antara lain adalah Net Present Value (NPV), Internal Rate Return (IRR), Payback Period and Profit Index (PI).

Persamaan matematis untuk menghitung Net Present Value adalah:

$$NPV = \sum_{t=1}^n \frac{NCF_t}{(1+i)^t} \quad (12)$$

dengan,

$$NCF_t = \sum_{t=1}^n Cash_Inflow_n - LCC_n \quad (13)$$

dimana $Cash_Inflow_n$ adalah biaya yang masuk pada saat operasi, LCC_n adalah biaya yang keluar selama operasi, $\frac{1}{(1+i)^t}$ adalah faktor diskonto dan NCF_t adalah arus kas bersih.

$$LCC_n = \sum_{t=1}^n Cost_{inv} + Cost_{OM} + Cost_{Replace} \quad (14)$$

$$Cost_{OM} = 1\% \times Cost_{inv} \quad (15)$$

$Cost_{inv}$ adalah biaya investasi, $Cost_{OM}$ adalah biaya operational dan maintenance (O&M), $Cost_{Replace}$ adalah biaya penggantian alat dan n adalah jumlah tahun operasi.

Perhitungan $Cash_Inflow_n$ diperoleh dari beberapa persamaan berikut ini:

$$Savings = (SC \times TB) \quad (16)$$

$$Profit = (EL_{tograd} \times LCoE) \quad (17)$$

$$Cash_Inflo = Savings + Profit \quad (18)$$

dengan SC adalah *self-consumption* (konsumsi sendiri), TB adalah tarif jual beli, EL_{tograd} adalah energi listrik yang dikirim ke grid, dan

$LCoE$ (Levelized Cost of Electricity) adalah tingkat penjualan sesuai dengan investasi.

$LCoE$ dihitung dengan menggunakan persamaan:

$$LCoE = \frac{I_t + \sum_{t=1}^n \frac{LCC}{(1+r)^t}}{\sum_{t=1}^n \frac{Et}{(1+r)^t}} \quad (19)$$

$$Et = \sum_{t=1}^n E_{t=i}(1-d)^t \quad (20)$$

dimana, I_t adalah biaya investasi pembangkitan untuk periode tahun ke- t , LCC (Life Cycle Cost) adalah biaya pengeluaran, $\sum_{t=1}^n \frac{LCC}{(1+r)^t}$ adalah total nilai sekarang dari LCC, r adalah nilai suku bunga, E_t adalah pembangkitan energi listrik total yang dihasilkan pada tahun ke- t , $\sum_{t=1}^n \frac{Et}{(1+r)^t}$ adalah nilai sekarang dari pembangkitan energi listrik total, n adalah umur pelayanan generator dan d adalah faktor degradasi.

Payback Period (periode pengembalian dalam tahun) dihitung dengan persamaan:

$$PBP = n + \frac{a-b}{c-b} \times 1 \quad (21)$$

dengan n adalah tahun terakhir dimana aliran kas masih belum menutupi biaya investasi, a adalah jumlah investasi awal (Rp), b adalah jumlah kumulatif aliran kas pada tahun ke- n (Rp) dan c adalah jumlah kumulatif aliran kas pada tahun ke- $(n+1)$ (Rp).

Internal Rate Return (IRR) dihitung dengan persamaan:

$$IRR = i1 + \frac{NPV1}{NPV1 - NPV2} \times (i1 - i2) \quad (22)$$

dengan $i1$ adalah tingkat suku bunga yang digunakan saat nilai NPV terakhir positif, $i2$ adalah tingkat suku bunga yang digunakan saat nilai NPV terakhir negatif, $NPV1$ adalah nilai NPV terakhir yang positif dan $NPV2$ adalah nilai NPV terakhir yang negatif.

Persamaan untuk menghitung Profitable Index (PI) adalah:

$$PI = \frac{NPV}{I} \quad (23)$$

dengan *NPV* adalah nilai bersih saat ini dan *I* adalah biaya investasi awal.

Suatu PLTS dinyatakan layak secara ekonomi bila memenuhi nilai parameter yang standar seperti yang ditunjukkan pada Tabel 1 berikut ini [10].

Table 1. Parameter Untuk Penentuan Kelayakan Ekonomi

Parameter	Nilai
NPV	>0
IRR	>10%
PI	>1
PBP	< 25 tahun

D. Prosedur Simulasi

Prosedur simulasi dapat diringkaskan sebagai berikut,

1) Untuk simulasi PLTS on-grid.

- Masukkan data produksi panel surya dan beban aktual.
- Buat data produksi panel surya dan beban sebesar 15% selama setahun.
- Untuk setiap data dengan durasi 1 jam, baik untuk beban 15% maupun beban aktual, jika produksi panel surya lebih besar dari beban, maka:
 - i. Hitung energi *self-consumption* yang sama dengan energi kebutuhan beban, persamaan (1)
 - ii. Hitung energi yang diekspor ke grid, persamaan (5)
 Jika energi panel surya lebih kecil dari beban, maka:
 - i. Hitung energi *self-consumption* sesuai dengan persamaan (2)
 - ii. Hitung energi yang digunakan dari grid, persamaan (7)
- Simpan nilai energi *self-consumption*, energi yang diekspor ke grid dan energi yang digunakan dari grid.
- Jumlahkan nilai total energi *self-consumption*, energi yang diekspor ke grid dan energi yang digunakan dari grid sampai saat ini.
- Hitung nilai SCR dan SSR, sesuai persamaan (3) dan persamaan (4).
- Lakukan simulasi untuk data pada jam berikutnya dan ulangi prosedur c, d, e dan f.
- Lakukan simulasi hingga data dua bulan.
- Lakukan simulasi hingga data setahun.

- Hitung nilai total energi *self-consumption* energi yang diekspor ke grid, energi yang digunakan dari grid, SCR dan SSR selama setahun.
- Hitung nilai NPV dengan persamaan (12), IRR dengan persamaan (21), PBP dengan persamaan (22) dan PI dengan persamaan (23).

2) Untuk simulasi PLTS hibrid.

- Masukkan data produksi panel surya dan beban aktual.
- Buat data produksi panel surya dan beban sebesar 15% selama setahun.
- Untuk setiap data dengan durasi seminggu, baik untuk beban 15% maupun beban aktual, jika produksi panel surya lebih besar dari beban, maka:
 - i. Hitung energi *self-consumption* yang sama dengan energi kebutuhan beban, persamaan (1)
 - ii. Jika SOC baterai lebih kecil dari kapasitas baterai, lakukan pengisian baterai.
 - iii. Hitung energi yang diekspor ke grid, persamaan (5)
 Jika energi panel surya lebih kecil dari beban, maka:
 - i. Hitung energi *self-consumption* sesuai dengan persamaan (2)
 - ii. Jika SOC baterai lebih besar dari kapasitas baterai, hitung energi yang diekspor ke beban atau grid, persamaan (9).
 - iii. Hitung energi yang digunakan dari grid, persamaan (11).
- Simpan nilai energi *self-consumption*, energi yang diekspor ke grid, energi yang digunakan dari grid, dan energi dari baterai ke grid
- Jumlahkan nilai total energi *self-consumption*, energi yang diekspor ke grid, energi yang digunakan dari grid dan energi dari baterai ke grid sampai saat ini.
- Hitung nilai SCR dan SSR, sesuai persamaan (3) dan persamaan (4).
- Lakukan simulasi untuk data minggu berikutnya dan ulangi prosedur c, d, dan e.
- Lakukan simulasi hingga data dua bulan.
- Lakukan simulasi hingga data setahun.
- Hitung nilai total energi *self-consumption* energi yang diekspor ke grid, energi yang

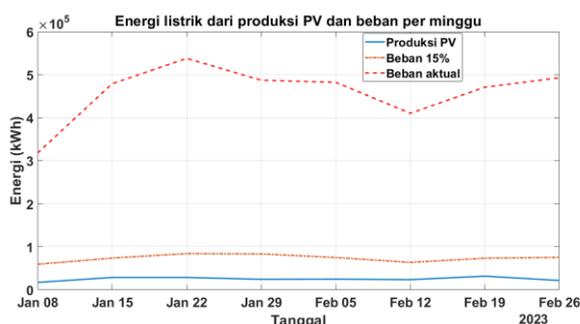
digunakan dari grid, energi dari baterai ke grid, SCR dan SSR selama setahun.

- Hitung nilai NPV dengan persamaan (12), IRR dengan persamaan (21), PBP dengan persamaan (22) dan PI dengan persamaan (23).

III. HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Profil beban dan produksi panel surya

Energi beban listrik industri yang disuplai dan energi dari hasil produksi panel surya yang direkam setiap jam selama dua bulan (Januari dan Februari 2023) dengan penyajian data per minggu ditunjukkan pada Gbr 3. Gbr. 3 menunjukkan bahwa energi yang dihasilkan oleh panel surya lebih kecil disebabkan panel surya hanya dapat menyediakan daya listrik pada waktu tertentu saja.



Gbr 3. Energi listrik yang dihasilkan panel surya dan energi yang dibutuhkan oleh beban listrik

B. Perhitungan Kapasitas Baterai

Kapasitas baterai untuk PLTS hibrid dihitung sesuai persamaan (9), dengan energi residu diperoleh dari produksi panel surya harian terbesar, yakni adanya surplus energi terbesar dari panel surya pada tanggal 3 Januari 2023 sebesar 1133,29 kWh. Sesuai persamaan (1), dengan DoD 0,8, efisiensi baterai 90% atau 0,9 dan tegangan baterai 420V, maka kapasitas baterai yang digunakan adalah:

$$C_{batt} = \frac{1133,29}{0,8 \times 0,9 \times 420} = 3,8 \text{ kWh}$$

atau,

$$C_{batt} = 3,8 \text{ kWh} \times 420V = 1596 \text{ kWh}$$

Inverter yang digunakan pada PLTS hibrid ini adalah jenis HPS 150 dengan tegangan baterai berkisar antara 358-600 V. Baterai yang digunakan adalah jenis LiFePO4 48V 100Ah. Untuk mencapai tegangan baterai sebesar 420V,

maka baterai tersusun seri dengan jumlah baterai per string adalah:

$$\text{Jumlah baterai seri} = \frac{420}{48} \approx 9 \text{ baterai}$$

9 baterai tersusun seri (string) ini menghasilkan tegangan 432V 100Ah. Untuk mencapai kapasitas baterai setara dengan 3,8 kWh, maka string baterai seri harus diparalelkan dan menghasilkan:

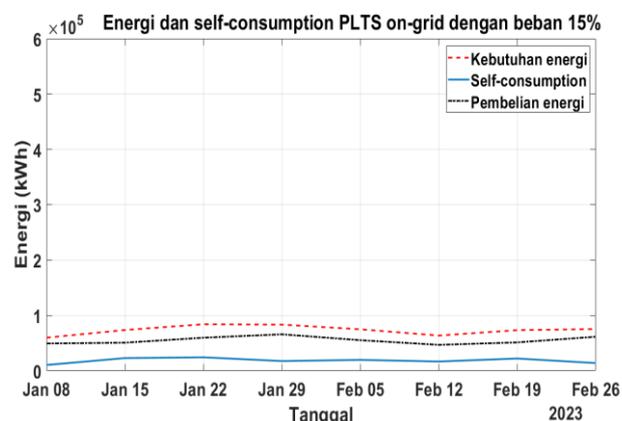
$$\text{Jumlah baterai paralel} = \frac{3,8 \text{ kWh}}{100 \text{ Ah}} = 38$$

Sehingga untuk memperoleh kapasitas baterai 3,8 kWh, maka digunakan 38 string baterai yang diparalelkan dengan setiap string terdiri dari 9 baterai tersusun seri.

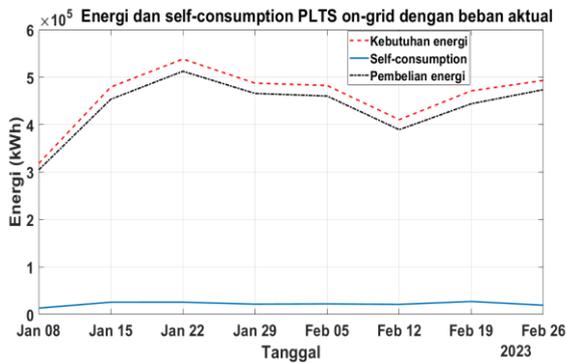
C. Hasil Simulasi

Simulasi dilakukan untuk jenis PLTS on-grid dan PLTS hibrid yang masing-masing menggunakan beban 15% dan beban aktual. Data beban 2 bulan (Januari dan Februari 2023) digunakan sebagai pola beban setiap 2 bulan selama setahun. Hal yang sama juga dilakukan dengan produksi energi panel surya selama 2 bulan dijadikan pola produksi energi dari panel surya setiap 2 bulan selama setahun. Simulasi juga mengizinkan ekspor energi listrik ke grid bila terdapat surplus produksi energi dari panel surya.

Hasil simulasi *self-consumption* dan kebutuhan energi per minggu selama dua bulan dari PLTS on-grid dengan beban 15% dan beban aktual masing-masing ditunjukkan pada Gbr. 4 dan Gbr.5.



Gbr 4. Energi dan *self-consumption* per minggu dari PLTS on-grid dengan beban 15%



Gbr 5. Energi dan *self-consumption* per minggu dari PLTS on-grid dengan beban aktual

Hasil simulasi untuk beban 15% dan beban aktual untuk PLTS jenis on-grid selama setahun masing-masing ditunjukkan pada Tabel 2 dan Tabel 3.

Tabel 2. Hasil simulasi PLTS on-grid dengan beban 15% selama setahun

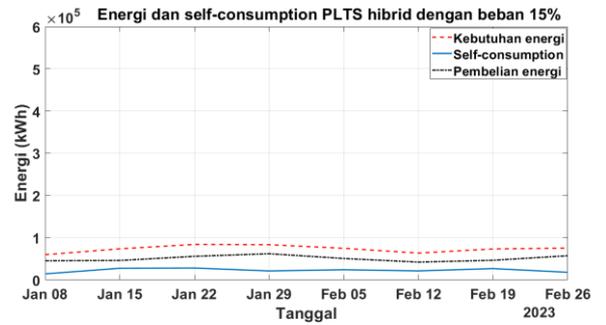
Parameter	Nilai (kWh)
Konsumsi total per tahun	3578460,4
Produksi panel surya per tahun	1238279,9
<i>Self-consumption</i>	903027,3
Energi yang diekspor ke grid	234910,26
Energi yang diimpor dari grid	2675129,2
Rugi-rugi total pada inverter	123828

Tabel 3. Hasil simulasi PLTS on-grid dengan beban aktual selama setahun

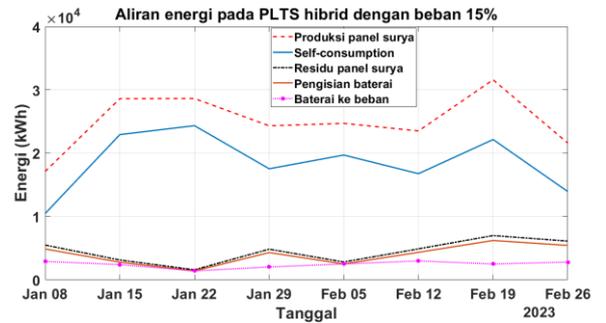
Parameter	Nilai (kWh)
Konsumsi total per tahun	22403839
Produksi panel surya per tahun	1238279,9
<i>Self-consumption</i>	1093996,9
Energi yang diekspor ke grid	22721,88
Energi yang diimpor dari grid	21309842
Rugi-rugi total pada inverter	123828

Dari Gbr. 4 dan Gbr. 5 dapat dilihat bahwa *self-consumption* dari panel surya semakin besar bila PLTS melayani beban aktual, namun pembelian energi dari grid juga semakin besar. Hal ini juga ditunjukkan oleh Tabel 2 dan Tabel 3.

Hasil simulasi *self-consumption* dan kebutuhan energi per minggu serta aliran energi selama dua bulan dari PLTS hibrid dengan beban 15% masing-masing ditunjukkan pada Gbr.6 dan Gbr.7.

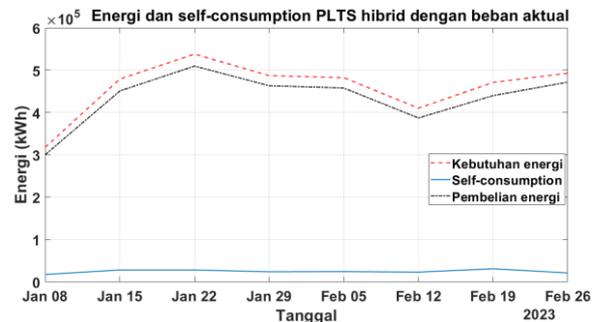


Gbr 6. Energi dan *self-consumption* per minggu dari PLTS hibrid dengan beban 15%

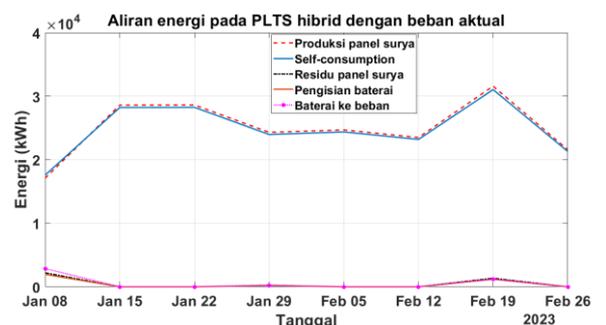


Gbr 7. Aliran energi per minggu dari PLTS hibrid dengan beban 15%

Hasil simulasi *self-consumption* dan kebutuhan energi per minggu serta aliran energi selama dua bulan dari PLTS hibrid dengan beban aktual masing-masing ditunjukkan pada Gbr.8 dan Gbr.9.



Gbr 8. Energi dan *self-consumption* per minggu dari PLTS hibrid dengan beban aktual



Gbr 9. Aliran energi per minggu dari PLTS hibrid dengan beban aktual

Sementara hasil simulasi pada PLTS hibrid dengan beban 15% dan beban aktual selama setahun ditunjukkan pada Tabel 4 dan Tabel 5.

Tabel 4. Hasil simulasi PLTS hibrid dengan beban 15% selama setahun

Parameter	Nilai
Konsumsi total per tahun (kWh)	3578460,4
Produksi panel surya per tahun (kWh)	1238279,9
<i>Self-consumption</i> (kWh)	1116163,0
Panel surya ke beban (kWh)	990319,9
Surplus energi panel surya (kWh)	234910,3
Beban sisa (residu) setelah disuplai panel surya (kWh)	2584674,9
Panel surya ke baterai (kWh)	208670,8
Baterai ke beban	125843
Beban sisa (residu) setelah disuplai baterai (kWh)	2458831,5
Energi total yang diimpor dari grid (kWh)	2458831,5
Energi total yang diekspor ke grid (kWh)	87396,8
Average Charging/Discharging depth (siklus)	0,047
Siklus baterai per tahun	16,87
Rugi-rugi total inverter hibrid (kWh)	20446,1
Rugi-rugi total baterai (kWh)	20867,1

Dari Gbr.6, Gbr.7 serta Tabel 4 dan Tabel 5 menunjukkan bahwa nilai *self-consumption* dari PLTS hibrid lebih besar dari nilai *self-consumption* dari PLTS on-grid baik pada beban 15% maupun pada beban aktual. Hal ini disebabkan adanya baterai yang mampu menyimpan energi listrik dari panel surya dan mensuplainya ke beban (parameter baterai ke beban).

Tabel 5. Hasil simulasi PLTS hibrid dengan beban aktual

Parameter	Nilai
Konsumsi total per tahun (kWh)	22403838,7
Produksi panel surya per tahun (kWh)	1238279,9
<i>Self-consumption</i> (kWh)	1226878,2
Panel surya ke beban (kWh)	1199749,9
Surplus energi panel surya (kWh)	22721,9
Beban sisa (residu) setelah disuplai panel surya (kWh)	21203710,7
Panel surya ke baterai (kWh)	20183,8
Baterai ke beban	27128,3
Beban sisa (residu) setelah disuplai baterai (kWh)	21176582,3

Parameter	Nilai
Energi total yang diimpor dari grid (kWh)	21176582,3
Energi total yang diekspor ke grid (kWh)	2175,49
Average Charging/Discharging depth (siklus) per day	26,9931
Siklus Baterai per tahun	148,18
Rugi-rugi total inverter hibrid (kWh)	16694
Rugi-rugi total baterai (kWh)	2018,4

Tingkat *self-consumption* (SCR) dan tingkat *self-sufficiency* (SSR) dari PLTS on-grid dan PLTS hibrid, baik dengan beban aktual maupun beban 15%, selama setahun ditunjukkan pada Tabel 6. Tabel 6 juga menunjukkan bahwa tingkat *self-consumption* semakin besar bila beban semakin besar. Sebaliknya tingkat *self-sufficiency* semakin kecil bila beban semakin besar, hal ini sesuai dengan persamaan (3) dan (4).

Tabel 6. Tingkat self-consumption dan self-sufficiency

Jenis PLTS	Nilai SCR (%)	Nilai SSR (%)
<i>On-grid</i> beban 15%	72,92	25,23
<i>Hybrid</i> beban 15%	90,1	31,3
<i>On-grid</i> beban aktual	99	4,88
<i>Hybrid</i> beban aktual	99,1	5,47

D. Analisis Kelayakan Ekonomi

Biaya investasi PLTS on-grid sebesar Rp. 9.891.493.200,00 dan biaya investasi PLTS Hibrid sebesar Rp.12.884.194.420,00. Tabel 7 menunjukkan hasil perhitungan parameter dari jenis-jenis PLTS dengan beban 15% dan beban aktual.

Tabel 7. Analisis Kelayakan Ekonomi

Jenis PLTS	NPV (Rp)	IRR (%)	PBP (year)	PI	Simpulan
On-grid Beban 15%	2,261.10 ⁹	12,98	7,14	1,23	Layak
On-grid beban aktual	3,068.10 ⁹	14,00	6,69	1,31	Layak
Hibrid beban 15%	6,201.10 ⁸	10,66	8,32	1,05	Layak
Hibrid beban aktual	1,116.10 ⁹	11,16	8,02	1,09	Layak
On-grid beban 15% tanpa penjualan	4,328.10 ⁸	10,60	8,42	1,04	Layak

Jenis PLTS	NPV (Rp)	IRR (%)	PBP (year)	PI	Simpulan
On-grid beban aktual tanpa penjualan	2,834.10 ⁹	13,72	6,81	1,29	Layak
Hibrid beban 15% tanpa penjualan	-2,91.10 ⁸	9,71	9,92	0,98	Tidak Layak
Hibrid beban actual tanpa penjualan	1,101.10 ⁹	11,15	8,03	1,09	Layak

Dari tabel 7 dapat dilihat bahwa untuk kasus ini, PLTS on-grid memiliki nilai NPV yang lebih besar, nilai persentase IRR yang lebih besar, nilai PBP yang lebih kecil dan nilai PI yang lebih besar dibandingkan dengan PLTS hibrid untuk beban yang sama baik dengan penjualan energi maupun tanpa penjualan energi ke grid. Hal ini berarti secara ekonomis PLTS on-grid lebih layak untuk dipasang dibandingkan dengan PLTS hibrid.

IV. KESIMPULAN

1. Nilai *self-consumption* (konsumsi sendiri) energi panel surya semakin besar bila beban yang dilayani semakin besar. Hal ini terlihat pada jenis PLTS yang melayani beban aktual nilai tingkat *self-consumption*-nya (SCR) lebih besar dibandingkan dengan jenis PLTS yang melayani beban 15%.
2. Penggunaan baterai pada sistem PLTS hibrid menaikkan nilai SCR, disebabkan sebagian energi dari panel surya disimpan pada baterai dan digunakan untuk melayani beban.
3. Dengan kebijakan pemerintah yang membatasi ekspor listrik ke jaringan grid dan hanya mengizinkan melayani 15% untuk beban industri, PLTS atap jenis on-grid lebih layak untuk dipasang secara ekonomis.

REFERENSI

- [1] S. Purnama, "AESI Minta Pln Tak Batasi Pemanfaatan PLTS Atap di Sektor Industri, Antara News. ANTARA. Available at: <https://www.antaraneews.com/berita/2815625/aesi-minta-pln-tak-batasipemanfaatan-plts-atap-di-sektor-industri>", (diakses pada April 5, 2023).
- [2] "Direktorat Jenderal EBTKE - Kementerian ESDM," ebtke.esdm.go.id/post/2022/02/07/3071/telah.terbit.peraturan.menteri.esdm.nomor.26.tahun.2021.tentang.plts.atap.yang.terhubung.pada.jaringan.tenaga.listrik.pemegang.iuptl.untuk.kepentingan.umu#:~:text=Telah%20Terbit%20%3A%20Peraturan%20Menteri%20ESDM (diakses April. 5, 2023).
- [3] Q. Hassan, M. K. Abbas, V. S. Tabar, S. Tohidi, M. Al-Hitmi, M. Jaszczur, A. Z. Sameen, H. M. Salman, "Collective Self-consumption of solar photovoltaic and batteries for a micro-grid energy system," *Results in Engineering*, vol. 17, pp.100925, Feb. 2023, doi: 10.1016/j.rineng.2023.100925.
- [4] S. Quoilin, K. Kavvadias, A. Mercier, I. Pappone, A. Zucker, "Quantifying Self-consumption linked to solar home battery systems: Statistical analysis and economic assessment," *Applied Energy*, vol. 182, pp.58-67, 2016, doi: 10.1016/j.apenergy.2016.08.077.
- [5] Z. Syamsudin, S. Hidayat, M. N. Effendi, "Perencanaan Penggunaan PLTS di Stasiun Kereta Api Cirebon Jawa Barat," *JURNAL ENERGI & KELISTRIKAN*, vol. 9, Jan. 2017.
- [6] R. Rohana, dan Z. Zulfikar, OPTIMALISASI PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA SURYA UNTUK MENINGKATKAN KAPASITAS DAYA LISTRIK. Kumpulan Penelitian dan Pengabdian Dosen, 1(1), 2018.
- [7] B. Ramadhani, "Instalasi Pembangkit Listrik Tenaga Surya Does & Don'ts, 1st ed., Jakarta: GIZ, 2018.
- [8] I. P. D. Wiriastika, I. Nyoman Setiawan, dan I. Wayan Sukerayasa, "Perencanaan Pembangkit Listrik Tenaga Surya Di Tempat Olah Sampah Setempat Werdi Guna Desa Gunaksa Kabupaten Klungkung," *Jurnal SPEKTRUM* Vol 9, no.1, 2022.
- [9] Harmini, dan Titik Nurhayati, "Optimalisasi Pemanfaatan Grid Connected Rooftop Solar Photovoltaic (SPV) Sebagai Pengembangan Green Energy System," *Jurnal Ecotipe (Electronic, Control, Telecommunication, Information, and Power Engineering)* vol.8, no.1, hal. 24-32, 2021.
- [10] I. B. K. Sugirianta, I. A. D. Giriantari, I. N. S. Kumara, "Analisa Keekonomian Tarif Listrik Pembangkit Listrik Tenaga Surya 1 MWp Bangli Dengan Metode Life Cycle Cost," *Teknologi Elektro*, vol. 15, no. 2, Des. 2016.