



## Optimalisasi Pemanfaatan Solar Panel untuk Efisiensi Energi dan Penghematan Biaya Listrik Rumah Tangga

Rika Sri Utami<sup>1\*</sup>, Riski Arifin<sup>2</sup>, Al Hilal Bakri<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Teknik Elektro, Universitas Syiah Kuala, Banda Aceh, Indonesia

<sup>2</sup>Teknik Industri, Universitas Syiah Kuala, Banda Aceh, Indonesia

\*Corresponding author: rikasriutami@usk.ac.id

---

### ARTICLE INFO

Received: 14-03-2025  
Revision: 15-04-2025  
Accepted: 10-05-2025

---

### Keywords:

Energi Berkelanjutan  
Efisiensi  
Konsumsi Listrik  
Solar Panel

---

### ABSTRACT

Energi berkelanjutan menjadi perhatian utama dalam upaya mengurangi ketergantungan pada sumber energi konvensional. Pemanfaatan energi matahari melalui solar panel semakin berkembang sebagai solusi yang ramah lingkungan dan ekonomis. Kota Banda Aceh memiliki rata-rata paparan sinar matahari sebesar 5,10 kWh/m<sup>2</sup>/hari pada tahun 2024, sehingga berpotensi untuk dikonversi menjadi listrik. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis efisiensi penggunaan solar panel dalam memenuhi kebutuhan listrik rumah tangga sebesar 9,2 kWh/hari serta menghitung payback period pengembalian investasi dari pemasangan solar panel. Penelitian dilakukan secara kuantitatif melalui simulasi perolehan energi dan ekonomi rancangan PLTS. Software RETScreen digunakan untuk potensi energi pada lokasi penelitian. Hasil simulasi rancangan PLTS kemudian dianalisis dan dibandingkan terhadap penelitian dengan sistem serupa. Hasil penelitian menunjukkan bahwa penggunaan satu unit solar panel dapat mengurangi biaya konsumsi listrik sebesar 27,9% per hari. Selain itu, dengan penggunaan 4 hingga 5 panel, energi yang dihasilkan dapat melebihi kebutuhan rumah tangga atau menghasilkan surplus listrik. Periode pengembalian investasi dari pemasangan solar panel ini diperkirakan memerlukan waktu antara 16 hingga 20 tahun.

---

### 1. PENDAHULUAN

Kebutuhan akan energi listrik diperkirakan akan terus mengalami kenaikan seiring dengan pertumbuhan populasi dan perkembangan komunitas masyarakat. Per 2023, Jumlah konsumsi tenaga Listrik nasional 370.997,44 GWh jumlah pelanggan keseluruhan adalah 89.153.278, yang didominasi oleh pelanggan sektor rumah tangga dengan rasio sebesar 91,47% [1]. Jumlah tersebut diperkirakan mencapai 408.436 GWh pada tahun 2030. Pun begitu, penyediaan sumber energi Indonesia masih didominasi penggunaan bahan bakar fosil dengan persentase penggunaan sumber energi baru terbarukan hanya sebesar 13% dari keseluruhan suplai energi pada tahun 2023 [2]. Ketergantungan terhadap sumber energi tak terbarukan ini sangat mengkhawatirkan karena ketergantungan ini memiliki setidaknya tiga ancaman serius, yaitu : 1) berkurangnya cadangan minyak yang ada; 2) kenaikan/ketidakstabilan harga karena naiknya tingkat permintaan dibandingkan produksi minyak; dan 3) polusi gas rumah kaca dari pembakaran bahan bakar fosil [3]. Sehingga untuk mengatasi hal tersebut dilakukan adanya konversi sinar matahari menjadi energi listrik.

Energi yang terdapat pada sinar matahari dapat dikonversi menjadi energi listrik karena sinar matahari memiliki partikel *photovoltaic* atau cahaya voltase [4]. Indonesia yang berada daerah tropis memiliki keuntungan yang besar berkat hal ini yaitu penyinaran matahari dirasakan sepanjang waktu di wilayah Indonesia dengan besaran rata-radiasi matahari sebesar 4,8 kWh/m<sup>2</sup>/Hari [5]. Hal ini menjadikan Indonesia memiliki potensi yang sangat besar untuk pemanfaatan energi matahari sebagai sumber energi listrik terbarukan. Salah satu wilayah Indonesia yang memiliki potensi pemanfaatan sinar matahari sebagai sumber energi listrik terbarukan adalah kota Banda Aceh. Besaran potensi

energi surya Kota Banda Aceh pada tahun 2024 memiliki nilai radiasi cahaya matahari sebesar 5,1 kWh/m<sup>2</sup>/Hari yang diperoleh menggunakan software RETScreen Expert, yaitu perangkat lunak pengelolaan energi bersih dan terbarukan .

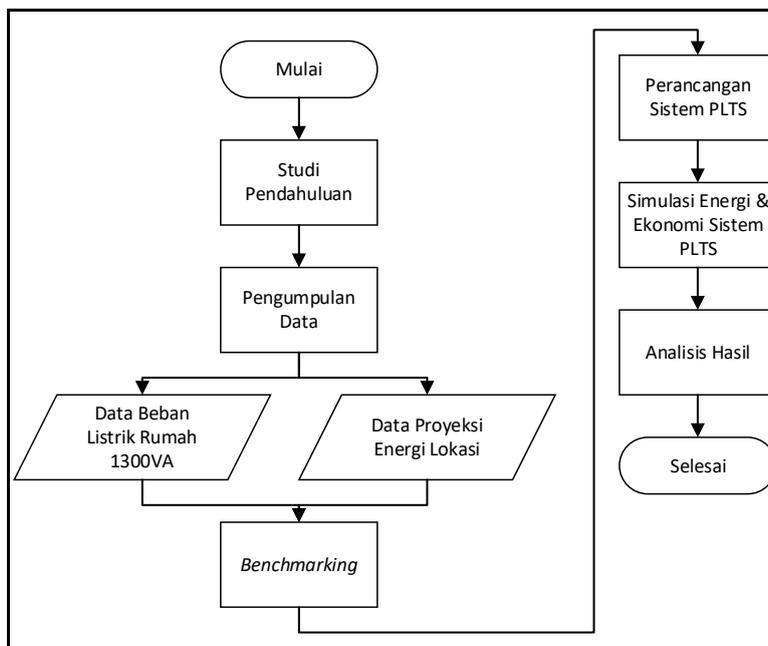
Pemanfaatan sumber cahaya matahari menjadi listrik dapat dilakukan pada listrik rumah tangga sehingga tidak bergantung kepada perusahaan penyedia listrik. Agar menciptakan listrik dari tenaga matahari memerlukan solar panel sehingga menghasilkan Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS). PLTS dibagi menjadi 3 jenis yaitu off grid, on grid dan *hybrid*. 1) Sistem *off-grid* atau dikenal juga sebagai *stand alone PV system* yaitu sistem pembangkit listrik yang hanya mengandalkan energi matahari sebagai satu-satunya sumber energi untuk pemenuhan kebutuhan. Sistem ini umum digunakan untuk daerah-daerah terpencil atau pedesaan yang benar-benar tidak dijangkau oleh jaringan listrik. 2) Sistem *on-grid* atau dikenal sebagai *grid-tied system*, merupakan rangkaian pembangkit listrik tenaga surya yang masih tetap terhubung dengan jaringan listrik utama dan menghasilkan energi listrik semaksimal mungkin melalui pemanfaatan energi panel surya secara optimal. Sistem ini mengurangi tagihan listrik dan memberikan nilai tambah bagi pemilik. 3) Sistem *hybrid*, merupakan gabungan dari sistem *off-grid* dan *on-grid*, yaitu dihasilkan energi listrik melalui cara yang sama seperti sistem *on-grid* tetapi menggunakan baterai untuk penyimpanan energi [6]. Klasifikasi daya listrik untuk konsumsi rumah tangga berdasarkan regulasi adalah 450 VA hingga >6.600 VA [7]. Daya listrik diartikan sebagai laju energi listrik yang terjadi dalam suatu rangkaian listrik [8]. Artinya, konsep daya listrik digunakan untuk menyatakan perpindahan energi atau energi yang digunakan dari satu sumber ke sumber lain sehingga menjadikan daya listrik sebagai ukuran konsumsi energi listrik. Konsumsi listrik rumah tangga yang menggunakan listrik 1300 VA berbeda tergantung dari banyaknya peralatan elektronik yang terinstall dalam rumah tersebut, beberapa penelitian menunjukkan bahwa konsumsi listrik rumah tangga sederhana rentang nilai 1,404 kWh - 9,2 kWh perharinya [7,8,9,10,11] [9]-[13].

Pemanfaatan tenaga surya sebagai sumber energi listrik menghasilkan penurunan biaya konsumsi listrik rumah tangga, namun hal pemanfaatan tenaga surya pada masyarakat masih terkendala pada biaya investasi PLTS yang mahal. Guna menyelesaikan permasalahan tersebut, penelitian ini melakukan perhitungan penurunan biaya listrik dan analisis finansial dari instalasi PLTS. Hal ini bertujuan untuk memberikan pertimbangan positif terkait kelayakan penerapan tenaga surya sebagai sumber energi listrik terutama pada konsumen skala rumah tangga kecil dan menengah serta mendorong transisi energi menuju sumber energi bersih dan ramah lingkungan guna mencapai keberlanjutan penyediaan energi. Penelitian oleh Klepacka et al. [14] melakukan perhitungan keuntungan ekonomis penggunaan solar panel melalui penelitian yang dilakukan pada 4 provinsi di Polandia. Hasil penelitian menunjukkan bahwa penggunaan solar panel menghasilkan penghematan biaya listrik sebesar 20-25% dibandingkan sebelumnya. Hal ini didukung oleh penelitian yang dilakukan di 3 negara yaitu Indonesia, Malaysia dan Thailand melalui analisis pemasangan solar panel pada atap rumah tangga yang kemudian menghasilkan penurunan biaya listrik sebesar 0,0491 hingga 0,0605 USD/kWh dengan nilai waktu pengembalian investasi sebesar 7-10 tahun [15].

Penggunaan PLTS juga menurunkan biaya produksi energi listrik dibandingkan penggunaan energi listrik konvensional. Penelitian oleh Sun et al. [16] menemukan bahwa biaya produksi listrik konvensional di Pakistan berkisar PKR 20,79 hingga PKR 21,12/kWh sedangkan dengan penggunaan PLTS sebagai sumber energi listrik, biaya produksi listrik mengalami penurunan menjadi sebesar PKR 6,87/kWh. Sementara itu, penelitian oleh Firdaus et al. [17] menunjukkan bahwa pada konsumsi rumah tangga dengan beban listrik sebesar 1,132 kWh per hari dapat diakomodir secara penuh dengan menggunakan 1 panel surya berdaya 200 Wp yang menghasilkan energi listrik sebesar 1,28 kWh serta jangka waktu untuk mencapai *break event point* adalah selama 9,7 tahun. Oleh karena itu, Penelitian ini dilakukan dengan tujuan untuk melakukan perhitungan besaran nilai penghematan yang dilakukan pada konsumsi rumah tangga yang berada di wilayah Banda Aceh melalui implementasi PLTS serta melakukan perhitungan waktu pengembalian investasi atau *payback period* dari implementasi PLTS.

## 2. METODE PENELITIAN

Penelitian ini bersifat deskriptif kuantitatif dan dilakukan melalui proses simulasi dan studi komparatif terhadap rancangan sistem pembangkit listrik yang disusun dalam penelitian dan perbandingan sistem rancangan terhadap rancangan serupa pada penelitian terdahulu. Metode pengumpulan data yang digunakan pada penelitian ini adalah studi literatur, yaitu dilakukan kajian terhadap implementasi PLTS pada konsumen rumah tangga skala kecil dengan daya 1300 VA serta potensi dan keuntungan implementasi PLTS pada penelitian terdahulu, serta tinjauan terhadap data proyeksi potensi energi dan radiasi matahari oleh NASA menggunakan perangkat lunak RETScreen Expert versi 9.2.068. Data hasil kajian literatur dan data proyeksi potensi energi matahari yang diperoleh digunakan sebagai dasar perancangan sistem pembangkit listrik tenaga surya (PLTS) dan proses simulasi energi yang dihasilkan dari rancangan sistem penelitian. Diagram alur tahapan penelitian adalah seperti pada Gambar 1.



**Gambar 1.** Diagram Alur Penelitian

Tahapan penelitian dilakukan sesuai alur penelitian pada Gambar 1. Penelitian diawali dengan memetakan permasalahan melalui proses studi pendahuluan terhadap sistem penyediaan tenaga listrik rumah tangga di Indonesia yang meliputi besaran konsumsi energi listrik, biaya, dan informasi lain yang relevan. Setelah permasalahan dapat dipetakan, kemudian dilakukan pengumpulan data yang dibutuhkan untuk perancangan sistem PLTS yang akan dibangun. Data yang dikumpulkan meliputi data konsumsi energi listrik rumah tangga hingga proyeksi energi yang dapat dihasilkan dari sumber matahari pada lokasi penelitian. Data yang telah dikumpulkan kemudian menjadi tolak ukur atau patokan dalam perancangan sistem PLTS. Sistem PLTS kemudian dirancang dengan spesifikasi yang sesuai untuk memenuhi kebutuhan energi dengan spesifikasi yang telah ditentukan sebelumnya. Setelah rancangan sistem PLTS sesuai patokan diperoleh, kemudian dilakukan simulasi terhadap energi yang dapat dihasilkan oleh sistem PLTS serta simulasi implementasi PLTS secara ekonomis. Hasil simulasi kemudian dianalisis untuk menentukan apakah sistem dapat diimplementasikan dan perbandingan implementasi sistem PLTS terhadap rancangan serupa.

### 3. HASIL DAN PEMBAHASAN

#### A. Konsumsi Energi Listrik Rumah Tangga

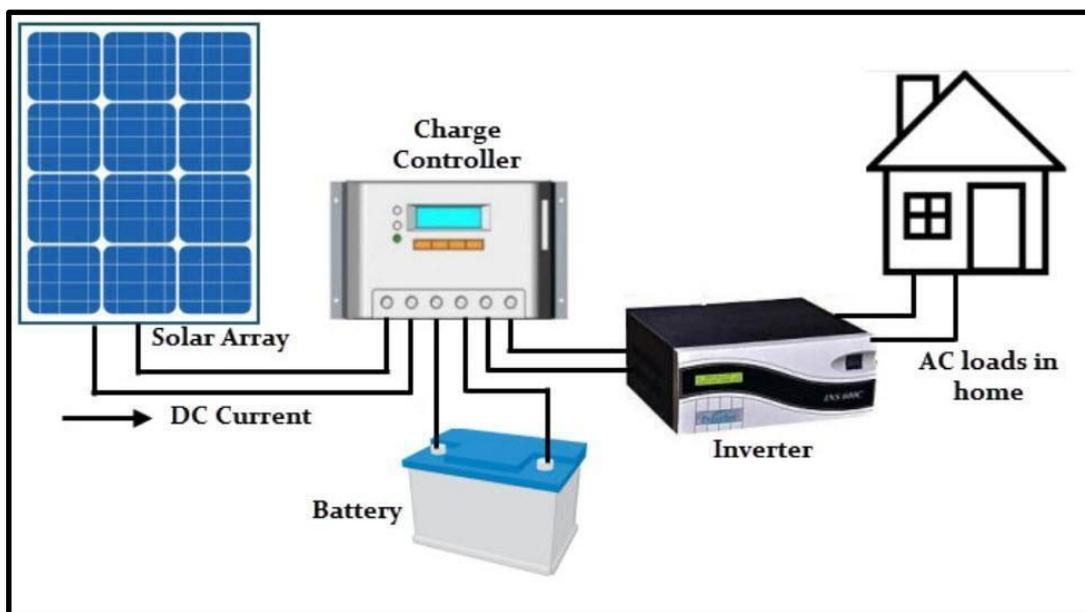
Secara umum, konsumsi energi listrik rumah tangga dipenuhi melalui layanan penyediaan tenaga listrik publik seperti penyediaan listrik oleh PLN yang diatur berdasarkan tarif tertentu. PLN mengatur penentuan biaya tarif listrik melalui klasifikasi daya listrik yang digunakan oleh masing-masing pelanggan. Pada penelitian ini, penelitian dilakukan pada rumah tangga berdaya listrik 1300 VA di Kota Banda Aceh. Tabel 1. menunjukkan tinjauan literatur yang dilakukan untuk menentukan beban listrik rumah tangga yang akan digunakan untuk spesifikasi rancangan PLTS. Software RETScreen Expert juga digunakan untuk menghitung potensi energi matahari pada lokasi penelitian melalui nilai rata-rata radiasi matahari pada kota Banda Aceh di tahun 2024 yaitu sebesar 5,10 kWh/m<sup>2</sup>/hari.

**Tabel 1.** Tinjauan Literatur Beban Listrik Rumah Tangga dengan Daya Listrik 1300 VA

No.	Jenis Peralatan Elektronik	Asumsi Beban Listrik Harian	Sumber
1	AC, Lampu, Kulkas, <i>Rice Cooker</i> , TV, Mesin Cuci, alat elektronik lainnya	9,2 kWh	[9]
2	Lampu, Setrika, Mesin Cuci, Laptop, TV, Pompa Air, Router	3,348 kWh	[10]
3	Lampu, Kulkas, Dispenser, <i>Rice Cooker</i> , Kipas Angin, TV, AC	1,404 kWh	[11]
4	Mesin Cuci, TV, PC, Kulkas, Kulkas, Kipas Angin. <i>Rice Cooker</i> , Lampu, Soket	5,812 kWh	[12]
5	Tidak dijabarkan	6,36 kWh	[13]

Tabel 1. menunjukkan besaran beban listrik harian rumah tangga dengan daya listrik 1300 VA berdasarkan penelitian terdahulu. Berdasarkan tinjauan tersebut, diperoleh bahwa besaran beban listrik rumah tangga dengan daya listrik 1300

VA berkisar dari nilai 1,404 kWh/hari hingga 9,2 kWh/hari yang dipengaruhi oleh jumlah dan jenis peralatan elektronik yang digunakan oleh rumah tangga tersebut. Adapun skema rangkaian PLTS yang dirancang adalah menggunakan skema *hybrid*, yaitu skema rangkaian panel surya yang terhubung dengan aliran listrik konvensional tetapi juga menggunakan baterai untuk penyimpanan energi listrik yang dikumpulkan melalui panel surya. Gambar 2. menunjukkan ilustrasi skema rangkaian PLTS yang digunakan pada penelitian ini.



Gambar 2. Skema Rancangan PLTS *hybrid* Rumah Tangga

Skema rancangan PLTS hybrid memiliki keunggulan optimasi penggunaan energi surya yang dihasilkan oleh panel surya melalui proses penyimpanan kelebihan energi yang dihasilkan dengan adanya perangkat penyimpanan berupa baterai. Selain itu, rangkaian juga tetap terhubung dengan aliran listrik publik sehingga memungkinkan penggunaan energi yang lebih fleksibel sesuai kondisi iklim lokasi penerapan PLTS rumah tangga tersebut. Konsumsi energi listrik yang digunakan pada penelitian ini mengacu pada penelitian [10] sebagai literatur dengan tipe rumah serupa yang memiliki tingkat konsumsi energi listrik harian terbesar untuk mengakomodasi penerapan pembangkit listrik tenaga surya pada rumah tangga berdaya listrik 1300 VA secara lebih luas. Tabel 2. menunjukkan proyeksi konsumsi harian energi listrik pada rumah tangga yang digunakan dalam penelitian ini. Nilai rata-rata ini digunakan sebagai *input* pada potensi energi yang dihasilkan oleh panel surya secara optimal.

Tabel 2. Konsumsi Energi Listrik Harian Rumah Tangga

Peralatan Elektronik	Jumlah	Daya (W)	Lama Pemakaian Rata-rata	Energi perhari (kWh)
AC	1	400	8	3,2
Lampu	12	10	8	0,96
Kulkas	1	80	24	1,92
Rice Cooker	1	300	4	1,20
TV	1	100	5	0,50
Mesin Cuci	1	500	1	0,50
<b>Elektronik Lainnya</b>	-	-	-	<b>0,92</b>
<b>Total</b>				<b>9,2</b>

Berdasarkan Tabel 2, diketahui bahwa besaran konsumsi energi listrik rumah tangga yang digunakan adalah sebesar 9,2 kWh/hari. Besaran konsumsi energi listrik ini akan digunakan sebagai faktor perhitungan dalam menyusun spesifikasi rangkaian PLTS yang akan diimplementasikan. Hal ini bertujuan agar pemanfaatan tenaga surya dapat mengakomodasi kebutuhan konsumsi rumah tangga tersebut secara optimal melalui rangkaian perangkat PLTS yang sesuai sehingga implementasi energi terbarukan dapat berjalan dengan baik.

**B. Spesifikasi Rancangan Rangkaian PLTS**

Rancangan PLTS ditentukan berdasarkan spesifikasi rangkaian yang sesuai untuk mengakomodir konsumsi listrik rumah tangga. Untuk menghitung kebutuhan daya PLTS yang dipasang, maka akan mempertimbangkan faktor kenaikan kebutuhan daya listrik sebesar 20-30% [18]. Kebutuhan daya modul untuk pemasangan PLTS dihitung dengan menggunakan formula (1).

$$\begin{aligned}
 \text{Daya Modul} &= \text{Daya Beban} \times (100\% + \text{besaran kenaikan daya listrik}) \\
 \text{Daya Modul} &= 9,2 \text{ kWh} \times 130\% = 11,96 \text{ kWh}
 \end{aligned}
 \tag{1}$$

Berdasarkan perhitungan daya modul, maka diperoleh bahwa perangkat PLTS yang dibutuhkan untuk implementasi energi listrik terbarukan pada rumah tangga yang diamati pada penelitian memiliki spesifikasi daya modul sebesar 11,96 kWh dengan perhitungan daya beban atau konsumsi energi listrik harian rumah tangga adalah sebesar 9,2 kWh dan pertimbangan faktor kenaikan kebutuhan listrik sebesar 30%. Besaran kebutuhan daya modul PLTS kemudian digunakan sebagai *input* untuk perhitungan total kapasitas sistem pembangkit listrik tenaga surya (PLTS). Formula penentuan kapasitas total sistem PLTS adalah sebagai berikut adalah sebagai berikut [19]:

$$\begin{aligned}
 P_{total} &= \frac{\text{Energi Modul}}{G_{avg}} \times G_{stc} \\
 P_{total} &= \frac{11,96 \text{ kWh}}{5,1 \text{ kWh/m}^2/\text{hari}} \times 1 \text{ kWh} = 2,345 \text{ kWp}
 \end{aligned}
 \tag{2}$$

Berdasarkan perhitungan kapasitas total PLTS, diperoleh bahwa total kapasitas PLTS yang dibutuhkan untuk rangkaian pada rumah tangga yang diamati dalam penelitian adalah sebesar 2,345 kWp. Dengan pertimbangan terhadap harga dan ketersediaan panel surya di pasaran, maka digunakan panel surya dengan kapasitas 500 Wp atau 0,5 kWp per unit dibutuhkan 5 unit panel surya untuk memenuhi kebutuhan kapasitas energi listrik pada objek secara keseluruhan. Tabel 3. menunjukkan komponen yang dibutuhkan dalam rancangan rangkaian PLTS pada penelitian ini serta harga masing-masing komponen dan besaran investasi awal untuk implementasi PLTS skema *hybrid* pada objek penelitian.

**Tabel 3.** Komponen PLTS Rancangan Rangkaian Skema *Hybrid*

No	Komponen	Jumlah Komponen	Harga/Unit	Total Harga
1	PV Cell 500 Wp	1	Rp3.750.000	Rp3.750.000
2	SCC 30 A	1	Rp2.350.000	Rp2.350.000
3	3000W Solar Inverter	1	Rp3.520.000	Rp3.520.000
4	Mounting PV Cell Bracket	1	Rp500.000	Rp500.000
5	Baterai 12 V 360 Ah	1	Rp12.600.000	Rp12.600.000
6	Rak Baterai	1	Rp3.000.000	Rp3.000.000
7	Wiring, Panel Penghubung, Proteksi	1	Rp3.000.000	Rp3.000.000
8	Jasa Pemasangan	1	Rp2.500.000	Rp2.500.000
<b>Total Investasi Awal</b>				<b>Rp31.220.000</b>

Tabel 3. menunjukkan komponen-komponen yang dibutuhkan untuk implementasi rancangan rangkaian PLTS skema *hybrid* pada objek penelitian. Nilai total investasi awal yang dibutuhkan adalah sebesar Rp31.220.000 dengan rincian 1 unit panel surya kapasitas 500 Wp atau 0,5 kWp sebagai komponen untuk melaksanakan proses *photovoltaic* dan baterai untuk penyimpanan energi listrik yang dihasilkan oleh PLTS. Besaran nilai investasi awal dapat berubah sesuai dengan perubahan harga pasaran komponen dan perbedaan spesifikasi rancangan rangkaian PLTS.

**C. Analisis Ekonomis Implementasi Rancangan Rangkaian PLTS**

Implementasi PLTS sebagai sumber energi pada rumah tangga bertujuan untuk memberikan keuntungan melalui penurunan biaya tagihan konsumsi listrik yang harus dikeluarkan. Untuk itu, dilakukan analisis secara ekonomi untuk menentukan seberapa besar dampak yang dihasilkan oleh implementasi sistem PLTS pada upaya penyediaan energi listrik untuk konsumen rumah tangga. Analisis dilakukan melalui perhitungan biaya yang dikeluarkan untuk konsumsi listrik rumah tangga melalui penyediaan listrik konvensional yaitu PLN, pengurangan biaya tagihan listrik dengan implementasi sistem rangkaian PLTS, serta lama waktu yang dibutuhkan untuk pengembalian dana investasi awal melalui pengeluaran biaya listrik rumah tersebut. Penentuan biaya tagihan listrik dilakukan dengan mengalikan besaran konsumsi energi listrik rumah tangga tersebut dengan Tarif Dasar Listrik (TDL) sesuai regulasi dari PLN dalam jangka waktu pemakaian tertentu. Tarif listrik yang digunakan untuk konsumen rumah tangga dengan daya listrik 1300 VA adalah sebesar Rp1.444,70 [20]. Konsumsi energi listrik rumah tangga pada penelitian ini adalah sebesar 9,2 kWh/hari, maka biaya listrik yang harus dikeluarkan untuk konsumsi energi listrik rumah tangga tersebut selama sebulan dihitung

menggunakan formula (3).

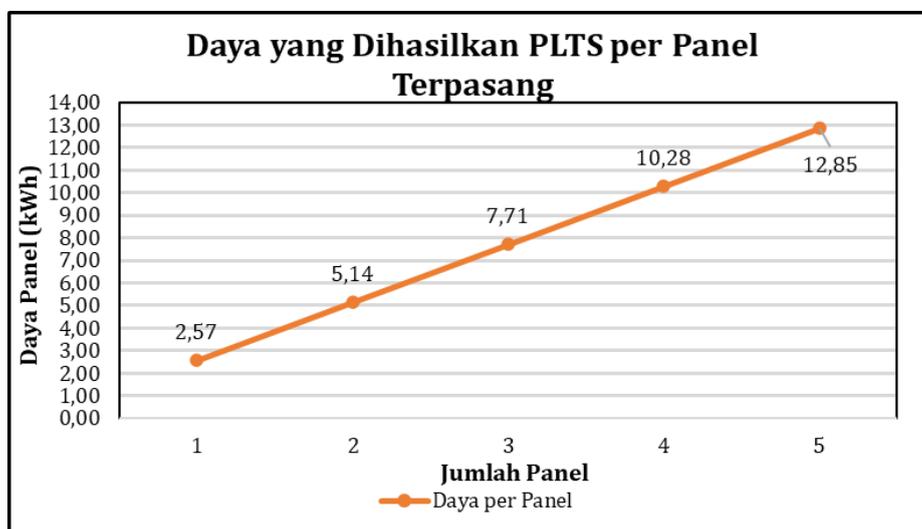
$$\begin{aligned} \text{Biaya Listrik Awal} &= \text{Beban Listrik Harian} \times \text{Tarif Listrik} \times 30 \text{ Hari} \\ \text{Biaya Listrik Awal} &= 9,2 \text{ kWh} \times \text{Rp. } 1.444,70 \times 30 \text{ Hari} = \text{Rp. } 398.737/\text{bulan.} \end{aligned} \quad (3)$$

Berdasarkan perhitungan biaya listrik awal, diketahui bahwa biaya yang dikeluarkan untuk konsumsi energi listrik rumah dengan daya listrik 1300 VA dengan jumlah beban konsumsi energi listrik 9,2 kWh adalah sebesar Rp. 398.737/bulan. Besaran biaya ini sangat bergantung dengan tarif listrik yang ditetapkan oleh penyedia layanan listrik yaitu PLN. Untuk menentukan kemungkinan implementasi PLTS pada sistem saat ini, dilakukan perhitungan potensi penghematan biaya listrik sesuai dengan jumlah panel PV (*Photovoltaic*) terpasang, yaitu sebagai berikut.

Diketahui Efisiensi panel sebesar 21,1%, luas permukaan panel sebesar 2,389 m<sup>2</sup>, serta lama penyinaran rata-rata 5,1 jam, maka besaran daya listrik yang dihasilkan dihitung menggunakan formula (4).

$$\begin{aligned} \text{Daya listrik} &= \text{Intensitas Radiasi} \times \text{Luas Panel} \times \text{Efisiensi Panel Surya} \times \text{Jumlah Panel} \\ \text{Daya Listrik} &= 5,10 \text{ kWh/m}^2/\text{hari} \times 2,389 \text{ m}^2 \times 21,1\% \times 1 \\ \text{Daya Listrik} &= 2,570 \text{ kWh} \end{aligned} \quad (4)$$

Berdasarkan perhitungan daya listrik yang dihasilkan oleh PLTS, diperoleh bahwa potensi optimal daya listrik yang dihasilkan oleh 1 unit panel surya dengan spesifikasi yang digunakan pada penelitian adalah sebesar 2,570 kWh/hari. Selanjutnya dilakukan simulasi daya listrik yang dihasilkan dengan jumlah panel terpasang yang berbeda-beda dengan menggunakan formula serupa. **Gambar 2.** menunjukkan grafik daya listrik yang dihasilkan panel surya berdasarkan jumlah panel yang terpasang sesuai spesifikasi pada penelitian.



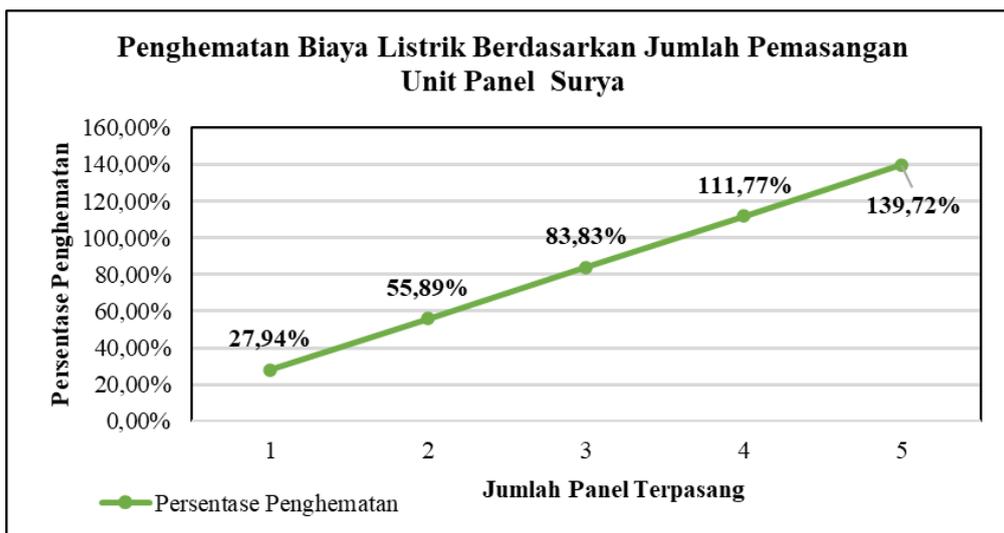
**Gambar 3.** Grafik Daya Listrik yang Dihasilkan PLTS Berdasarkan Jumlah Panel Terpasang

Gambar 3. menunjukkan bahwa terjadi peningkatan secara linear terhadap daya listrik yang dihasilkan oleh PLTS rancangan penelitian. Pemasangan minimal 4 panel surya pada PLTS menyebabkan daya listrik yang dihasilkan oleh PLTS mampu mencukupi kebutuhan energi listrik rumah tangga yaitu sebesar 9,2 kWh serta terdapat kelebihan daya listrik yang dapat disimpan sebagai cadangan energi pada PLTS. Selain itu, meskipun pemasangan 1-3 unit panel surya pada PLTS belum mencapai besaran kebutuhan daya listrik rumah tangga yang diamati, namun penggunaan panel surya dengan jumlah tersebut dapat mengurangi penggunaan energi listrik dari layanan penyedia listrik konvensional secara signifikan.

Pengurangan biaya beban/konsumsi energi listrik diperoleh berdasarkan jumlah unit panel surya yang terpasang pada sistem PLTS. Untuk pengurangan biaya listrik pada pemasangan 1 unit panel surya, penghematan biaya listrik yang dihasilkan dihitung menggunakan formula (5).

$$\begin{aligned} \text{Biaya listrik} &= (\text{Beban Harian} - \text{Daya listrik panel}) \times \text{Tarif dasar listrik} \times 30 \text{ hari} \\ \text{Biaya listrik} &= (9,2 \text{ kWh} - 2,57 \text{ kWh}) \times \text{Rp. } 1.444,70 \times 30 \text{ hari} = \text{Rp. } 287.350,83 \\ \text{Penghematan} &= \text{Biaya listrik awal} - \text{Biaya listrik} \\ \text{Penghematan} &= \text{Rp. } 398.737 - \text{Rp. } 287.350,83 = \text{Rp. } 111.386,17 \end{aligned} \quad (5)$$

Berdasarkan perhitungan pengurangan biaya listrik, diperoleh bahwa terjadi pengurangan beban harian sebagai akibat pemasangan 1 unit panel surya yaitu sebesar 2,57 kWh sehingga terjadi penghematan biaya listrik sebesar Rp 111.386,17 atau sebesar 27,93% dari biaya listrik awal yaitu Rp. 398.737 menjadi Rp 287.350,83. Penghematan biaya listrik berdasarkan jumlah unit panel surya yang terpasang pada sistem PLTS ditunjukkan pada **Gambar 3.**



Gambar 4. Grafik Penghematan Biaya Listrik Berdasarkan Jumlah Pemasangan Unit Panel Surya

Gambar 4 menunjukkan bahwa terjadi peningkatan secara linear pada penghematan biaya listrik bulanan berdasarkan jumlah unit panel surya yang dipasang. Diperoleh bahwa dengan pemasangan unit panel surya sebanyak minimal 4 panel akan menyebabkan penghematan biaya listrik melebihi nilai 100% sehingga rumah tangga tidak mengeluarkan biaya listrik bulanan dan dapat melakukan penyimpanan energi listrik yang dihasilkan oleh sistem PLTS. Faktor lain yang perlu diperhatikan dalam perencanaan investasi dan perancangan sistem PLTS adalah payback period atau periode pengembalian. *Payback period* merujuk pada pengembalian modal investasi yang telah dikeluarkan dalam suatu jangka waktu tertentu. Perhitungan *payback period* dilakukan dengan membagikan besaran nilai investasi atau *cost of investment* dengan jumlah aliran kas bersih setiap tahunnya [21]. Perhitungan *payback period* pada rancangan rangkaian PLTS yang diajukan pada penelitian ini dihitung menggunakan formula (6).

$$PP = \frac{\text{Investasi Awal}}{\text{Arus Kas/penghematan}} \tag{6}$$

$$PP = \frac{\text{Rp. 31.220.000}}{\text{Rp. 111.386,17}}$$

$$PP = 280,29 \text{ bulan} = 23,36 \text{ tahun} \approx 24 \text{ tahun}$$

Besaran nilai *payback period* pada sistem yang dirancang/dibangun sangat tergantung pada besaran energi yang dihasilkan oleh pembangkit listrik tenaga surya dan perbandingannya terhadap konsumsi energi listrik harian. Sebuah studi kasus pada rumah tinggal di Malaysia melakukan implementasi penerapan panel PV pada rumah tangga dengan skala kecil, menengah, dan besar dengan konsumsi listrik bulanan masing-masing sebesar 300 kWh/bulan, 600 kWh/bulan, dan 900 kWh/bulan dan panel PV yang digunakan memiliki kapasitas 1 kWp untuk skala kecil, 2,38 kWp untuk skala menengah, dan 7,83 kWp untuk skala besar. Berdasarkan proyeksi, diperoleh periode pengembalian modal atau *payback period* untuk masing-masing tipe rumah tangga konsumsi adalah selama 9,32 tahun untuk rumah konsumsi skala kecil, 14,37 tahun untuk rumah konsumsi skala menengah, dan 13,46 tahun untuk rumah konsumsi skala besar [22]. Pada studi kasus lain di Texas, Amerika Serikat dengan objek berupa sebuah rumah keluarga tunggal dengan penggunaan energi listrik harian sebesar 1,176 kWh. Sistem pembangkit listrik tenaga surya yang digunakan memiliki kapasitas sebesar 7kW dengan sistem penyimpanan sebesar 3kW/6kW dengan biaya investasi awal sebesar \$20.173,88. Analisis finansial kemudian dilakukan dan diperoleh bahwa periode *payback* dari sistem yang diajukan adalah bernilai 13 tahun dengan Profitability index sebesar 1.31 [23]. Adapun tingkat *payback period* dari instalasi PV panel cenderung mengalami peningkatan seiring dengan peningkatan kapasitas. Penelitian oleh Wang, et al. [24] memberikan analisis teknis dan ekonomis terhadap sistem baterai panel PLTS dengan pertimbangan terhadap 2 kebijakan tariff yang berbeda. Analisis ekonomis penelitian tersebut menunjukkan bahwa dari proyeksi menggunakan panel 10 kW, 7,5 kW, dan 5 kW, menunjukkan peningkatan *payback period* seiring dengan peningkatan kapasitas baterai yang digunakan dalam rancangan.

Penelitian oleh Ananda, et al. [25] dilakukan di Bulaksumur, Yogyakarta dengan menggunakan *software* Archelios Pro. Objek yang digunakan yaitu rumah tangga dengan konsumsi energi listrik harian sebesar 8,859 kWh. Sistem PV yang dirancang memiliki kapasitas sebesar 6,60 kWp dengan biaya investasi awal sebesar Rp. 75,435,554. Perbandingan antara biaya listrik tahunan tanpa menggunakan sistem PV adalah sebesar Rp 12,792,396 sementara dengan menggunakan sistem PLTS terjadi penghematan biaya listrik tahunan sebesar Rp 3,847,926 menjadi Rp 8,944,470. *Payback period* dari rancangan sistem tersebut adalah >20 tahun, meskipun demikian penggunaan sistem PLTS

dipercaya memberikan penghematan secara signifikan pada biaya listrik dalam jangka panjang. Selain itu, dalam skala besar sistem PLTS mampu menjadi alternatif sumber energi mandiri untuk kesulitan akses energi dengan suatu studi kasus sistem PLTS sebagai sumber energi listrik untuk 62 unit rumah tinggal, 3 fasilitas publik dan penerangan dengan total kapasitas energi yang dibutuhkan adalah sebesar 28.675 kW. Untuk pemenuhan kebutuhan tersebut, dilakukan investasi awal sebesar Rp 3.589.000.000, kemudian dengan proyeksi operasi sistem PLTS diperoleh pendapatan tahunan dari penggunaan energi listrik sebesar Rp 248.689.120. Berdasarkan hal tersebut diperoleh periode pengembalian nilai investasi yaitu sebesar 15,86 tahun atau dibulatkan menjadi 16 tahun [26].

Hasil perhitungan *payback period* PLTS 1 panel yang dirancang pada penelitian ini adalah selama 24 tahun. Besaran *payback period* ditentukan oleh spesifikasi PLTS yang dipasang. Pada penelitian ini, spesifikasi rancangan PLTS dibangun untuk 5 panel dengan tingkat penghematan energi sebesar 139,72% atau surplus energi listrik jika dimanfaatkan secara optimal. *Payback period* yang diperoleh pada pemasangan 1 panel masih sejalan dengan penelitian-penelitian sebelumnya yang menekankan bahwa tingkat *payback period* PLTS ditentukan berdasarkan spesifikasi dan energi yang dibutuhkan, serta lebih mempertimbangkan keuntungan dalam jangka panjang yang lebih signifikan. Pada sistem energi terbarukan yang telah stabil dan aksesibel, umumnya tingkat *payback period* PLTS adalah berkisar antara 4-6 tahun [27]. Ketersediaan *part* dan tingkat aksesibilitas rancangan PLTS menjadi salah satu faktor lamanya nilai *payback period* pada rancangan penelitian ini.

#### 4. KESIMPULAN

Penelitian ini menunjukkan bahwa penggunaan solar panel yang bersifat *hybrid* pada rumah tinggal dengan daya listrik 1300 VA memberikan efek yang positif dengan terjadinya penghematan biaya. Terjadi penghematan sebesar 27,9% dari kebutuhan listrik rumah tangga per harinya dengan menggunakan satu solar panel. Nilai *payback period* dari pemasangan solar panel ini membutuhkan waktu selama 24 tahun. Meskipun memiliki nilai periode pengembalian nilai investasi >20 tahun, namun penerapan PV sistem dapat memberikan penghematan signifikan terhadap biaya konsumsi listrik dalam jangka waktu panjang. Pertimbangan penambahan jumlah panel dan spesifikasi panel surya sistem juga dapat dilakukan untuk mendukung transisi sepenuhnya menuju sumber energi listrik berbasis tenaga surya dan memperoleh penghematan yang semakin signifikan. Simulasi energi yang dihasilkan sistem PLTS menunjukkan tingkat penghematan sebesar 139,72% atau surplus pada penggunaan energi listrik. Hal ini menunjukkan bahwa penyediaan energi secara mandiri, ramah lingkungan, dan berbiaya rendah bagi rumah tangga dapat dilakukan dengan memanfaatkan energi matahari melalui PLTS terintegrasi. Penelitian selanjutnya dapat dilakukan untuk menentukan spesifikasi rancangan yang memadai untuk penyediaan listrik rumah tangga secara mandiri dengan biaya serendah mungkin sehingga dapat dijangkau oleh semakin banyak lapisan rumah tangga, mendukung penyediaan energi listrik ke daerah yang tidak terjangkau layanan listrik konvensional, serta mendukung penggunaan energi yang lebih ramah lingkungan.

#### REFERENCES

- [1] Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral, *Statistik Ketenagalistrikan Tahun 2023*, No. 37. Jakarta: Sekretariat Direktorat Jenderal Ketenagalistrikan, 2024.
- [2] IESR, "Indonesia Energy Transition Outlook 2025: Navigating Indonesia's Energy Transition at the Crossroads: A Pivotal Moment for Redefining the Future," Jakarta, 2024. [Online]. Available: <https://iesr.or.id/wp-content/uploads/2024/12/Indonesia-Energy-Transition-Outlook-2025-Digital-Version.pdf>.
- [3] M. M. Adrian, E. P. Purnomo, A. Enrici, and T. Khairunnisa, "Energy transition towards renewable energy in Indonesia," *Herit. Sustain. Dev.*, vol. 5, no. 1, pp. 107–118, 2023, doi: 10.37868/hsd.v5i1.108.
- [4] A. S. Adistri, "Optimalisasi Penggunaan Energi Matahari dalam Produk Photovoltaic pada Era Ekonomi Sirkular," *J. Vokasi Indones.*, vol. 12, no. 1, 2024, doi: 10.7454/jvi.v12i1.1212.
- [5] K. M. Mardauntung, K. B. Adam, and K. Afifah, "Sistem Penyiraman Tanaman Otomatis Dengan Daya Dari Photovoltaic," *eProceedings Eng.*, vol. 10, no. 3, pp. 2146–2153, 2023.
- [6] B. Rudiyanto, R. E. Rachmanita, and A. Budiprasojo, *Dasar-Dasar Pemasangan Panel Surya*. Malang: UNISMA Press, 2023.
- [7] Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral, "Peraturan Menteri Energi Dan Sumber Daya Mineral Nomor 28 tahun 2016," *Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral Republik Indonesia*, no. 879. pp. 2004–2006, 2016.
- [8] W. N. Agustianingsih, F. Kurniawan, and P. Setiawan, "Analisis Ketepatan Pengukur Daya dan Faktor Daya Listrik Berbasis Arduino Uno R3 328P," *Avitec*, vol. 3, no. 1, pp. 15–27, 2021, doi: 10.28989/avitec.v3i1.794.
- [9] A. A. Ibrahim, "Carbon Dioxide and Carbon Monoxide Level Detector," *2018 21st Int. Conf. Comput. Inf. Technol.*, pp. 1–5, 2018.
- [10] R. P. Dewi, F. Hazrina, and B. Widianingsih, "PERBANDINGAN ENERGI LUARAN PLTS ATAP TERHADAP KONSUMSI ENERGI SKALA RUMAH TANGGA DENGAN DAYA LISTRIK 1300 VA," *J. POLEKTRO J. Power Elektron.*, vol. 11, no. 2, p. 251, 2022, doi: 10.30591/polektro.v12i1.3634.
- [11] Z. Tharo, E. Syahputra, and R. Mulyadi, "ANALYSIS OF SAVING ELECTRICAL LOAD COSTS WITH A HYBRID SOURCE OF PLN-PLTS 500 WP," *J. Appl. Eng. Technol. Sci.*, vol. 4, no. 1, pp. 235–243, 2022, doi: 10.37385/jaets.v4i1.1024.

- [12] J. Windarta, Denis, S. Saptadi, K. Fernanda, V. R. Putra, and F. A. Widiatmoko, "ON-GRID AND HYBRID SOLAR POWER PLANTS COMPARABILITYIN SEMARANG CITY, INDONESIA," *J. Appl. Eng. Sci.*, vol. 20, no. 3, pp. 889–899, 2022, doi: 10.5937/jaes0-34086.
- [13] N. Sugiarta, "Energy Yield of a 1.3 kWp Grid-Connected Photovoltaic System Design: Case for a Small House in Bali," *Matrix J. Manaj. Teknol. dan Inform.*, vol. 10, no. 1, pp. 19–25, 2020, doi: 10.31940/matrix.v10i1.1838.
- [14] A. M. Klepacka, W. J. Florkowski, and T. Meng, "Clean, accessible, and cost-saving: Reasons for rural household investment in solar panels in Poland," *Resour. Conserv. Recycl.*, vol. 139, no. May, pp. 338–350, 2018, doi: 10.1016/j.resconrec.2018.09.004.
- [15] N. A. Ludin *et al.*, "Environmental Impact and Levelised Cost of Energy Analysis of Solar Photovoltaic Systems in Selected Asia Pacific Region: A Cradle-to-Grave Approach," *Sustainability*, vol. 13, no. 1, p. 396, 2021, doi: <https://doi.org/10.3390/su13010396>.
- [16] H. Sun, R. U. Awan, M. A. Nawaz, M. Mohsin, A. K. Rasheed, and N. Iqbal, "Assessing the socio-economic viability of solar commercialization and electrification in south Asian countries," *Environ. Dev. Sustain.*, vol. 23, no. 7, pp. 9875–9897, 2021, doi: 10.1007/s10668-020-01038-9.
- [17] H. Firdaus, Z. Abidin, D. Suryadi, and E. Sukmara, "Analisis Penggunaan Solar Cell Untuk Kebutuhan Listrik Rumah Tinggal Sederhana," *J. Media Teknol.*, vol. 10, no. 2, pp. 89–94, 2024, doi: 10.25157/jmt.v10i2.3822.
- [18] M. Farhan Fernanda *et al.*, "Penentuan Komponen Sistem PLTS 100 Wp pada Floating Photovoltaic sebagai Sumber Energi Lampu Penerangan 20 W Pada Kolam Politeknik Negeri Jakarta," *Pros. Semin. Nas. Tek. Mesin Politek. Negeri Jakarta*, pp. 171–180, 2021, [Online]. Available: <http://prosiding.pnj.ac.id>.
- [19] H. Cahyo Utomo, B. Santoso, and H. Rahman, "Perencanaan Instalasi PLTS Rooftop Di Pos Security PT Qualis Indonesia," in *Prosiding A Seminar Nasional Teknik Mesin Politeknik Negeri Jakarta*, 2023, pp. 698–707, [Online]. Available: <http://prosiding.pnj.ac.id>.
- [20] PLN, "Tarif Listrik 2025," *Tariff Adjustment*, 2025. <https://web.pln.co.id/statics/uploads/2025/01/tarif-listrik-2025.jpeg> (accessed Mar. 14, 2025).
- [21] N. Febriana Pratiwi, A. Pudir, and W. B. Mursanto, "Perancangan PLTS Atap On Grid Kapasitas 163,8 kWp untuk Suplai Daya Industri Tekstil Naswa," in *Prosiding Industrial Research Workshop and National Seminar*, 2022, vol. 13, no. 1, pp. 297–303, [Online]. Available: <https://jurnal.polban.ac.id/ojs-3.1.2/proceeding/article/view/4278>.
- [22] M. Muhibbullah, R. Afroz, and J. Duasa, "Solar photovoltaic panels in Malaysian homes: An economic analysis and survey of public opinion," *Int. J. Energy Econ. Policy*, vol. 11, no. 6, pp. 454–464, 2021, doi: 10.32479/ijeep.11750.
- [23] A. M. Sokolov, N. U. Hossain, A. Safouhi, and B. Merrill, "An Economic Analysis for Residential Rooftop Solar Photovoltaic Panels in the State of Texas," in *Proceedings of the International Conference on Industrial Engineering and Operations Management*, 2023, pp. 36–44, doi: 10.46254/an13.20230010.
- [24] Z. Wang, M. Luther, P. Horan, J. Matthews, and C. Liu, "Technical and economic analyses of PV battery systems considering two different tariff policies," *Sol. Energy*, vol. 267, no. July 2023, p. 112189, 2024, doi: 10.1016/j.solener.2023.112189.
- [25] G. F. Ananda, K. Bintoro, and A. Khair, "Analysis and Design of a Rooftop Photovoltaic ( PV ) System in Bulaksumur , Yogyakarta Using Archelios Pro," *J. Renew. Energy, Electr. Comput. Eng.*, vol. 4, no. 2, pp. 180–188, 2024, doi: [doi.org/10.29103/jreece.v4i2.18342](https://doi.org/10.29103/jreece.v4i2.18342).
- [26] A. Chandra and Martunis, "Perencanaan Pembangkit Listrik Tenaga Surya Di Pedesaan Kabupaten Simeulue," *Aceh J. Electr. Eng. Technol.*, vol. 3, pp. 1–7, 2023.
- [27] N. W. K. V. V. Nanayakkara, B. A. K. S. Perera, and I. M. C. S. Illankoon, "On-site renewable energy for industrial buildings in Sri Lanka: a life-cycle cost analysis," *Intell. Build. Int.*, vol. 14, no. 4, pp. 499–516, 2022, doi: 10.1080/17508975.2021.1938505.