

ANALISIS KELAYAKAN EKONOMI IMPLEMENTASI ENERGI SURYA PADA BANGUNAN PENDIDIKAN: SEBUAH SYSTEMATIC LITERATURE REVIEW

Ella Aprilliyah¹

¹ Program Studi Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Al-Azhar Medan

Corresponding e-mail: ellaapriyah7676@gmail.com

Abstract (Ditulis dalam Bahasa Inggris, Times New Roman 11, Bold, spasi 1, margin kiri 3.5, margin kanan 3.3)

This study aims to analyze the economic feasibility of implementing solar energy in educational buildings through a Systematic Literature Review (SLR). Data were obtained from scientific articles in the Scopus, ScienceDirect, Web of Science, and Google Scholar databases, using inclusion criteria covering the years 2015–2026 and focusing on solar power plants in educational buildings as well as economic indicators such as NPV, IRR, PP, and LCOE. A total of [X] articles were selected and analyzed after the screening process using inclusion and exclusion criteria.

The results indicate that the implementation of solar power systems in educational buildings is generally economically viable. This is evidenced by positive NPV values, IRR rates above the minimum viability threshold, and a Payback Period ranging from 6 to 16 years—which falls within the system's economic lifespan. Key factors influencing viability include initial investment costs, electricity tariffs, solar radiation intensity, system efficiency, and government policies.

In conclusion, solar power plants have great potential for application in the education sector as a solution for energy efficiency, operational cost savings, and support for sustainable energy.

Keywords: SLR, solar power plants, economic feasibility, solar energy, education

A. PENDAHULUAN (Times New Roman 12, Bold, spasi 1,5)

Kebutuhan energi listrik pada sektor pendidikan terus meningkat seiring dengan perkembangan teknologi pembelajaran, penggunaan perangkat elektronik, sistem pendingin ruangan, serta fasilitas pendukung lainnya (Alfaoyzan and Almasri 2023). Di sisi lain, ketergantungan terhadap energi fosil menyebabkan meningkatnya biaya

operasional dan emisi gas rumah kaca. Oleh karena itu, diperlukan sumber energi alternatif yang berkelanjutan, salah satunya adalah energi surya melalui sistem Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) fotovoltaik (Photovoltaic/PV)(Obaideen et al. 2023). Energi surya merupakan sumber energi terbarukan yang melimpah, ramah lingkungan, dan memiliki potensi besar untuk diterapkan pada bangunan pendidikan seperti sekolah, perguruan tinggi, dan institusi pendidikan lainnya.

Implementasi PLTS pada bangunan pendidikan tidak hanya bertujuan untuk mengurangi konsumsi listrik dari jaringan utama, tetapi juga dapat menjadi sarana edukasi mengenai energi terbarukan bagi peserta didik(Hoque, Yasin, and Sopian 2022). Berbagai penelitian menunjukkan bahwa pemasangan sistem PV pada bangunan institusi mampu mengurangi biaya listrik tahunan secara signifikan dan meningkatkan keberlanjutan lingkungan. Namun demikian, investasi awal yang relatif tinggi sering menjadi kendala utama dalam pengambilan keputusan implementasi teknologi tersebut. Oleh sebab itu, analisis kelayakan ekonomi menjadi aspek yang sangat penting untuk menentukan apakah investasi PLTS layak diterapkan pada bangunan pendidikan(Zhu et al. 2023).

Kajian mengenai kelayakan ekonomi PLTS umumnya menggunakan indikator ekonomi seperti Net Present Value (NPV), Internal Rate of Return (IRR), Payback Period (PP), Levelized Cost of Energy (LCOE), dan Cost of Energy (COE)(Poland and Brodzi 2021). Faktor-faktor yang memengaruhi kelayakan ekonomi meliputi biaya investasi awal, biaya operasi dan pemeliharaan, tarif listrik, tingkat suku bunga, umur sistem, efisiensi panel surya, dan intensitas radiasi matahari di lokasi pemasangan. Penelitian terdahulu mengidentifikasi sedikitnya 29 faktor yang berpengaruh terhadap kelayakan ekonomi investasi PLTS yang dapat dikelompokkan menjadi faktor ekonomi, teknis, lingkungan, iklim, dan kebijakan pemerintah(Dimeas and Kiokes 2022).

Pada sektor pendidikan, beberapa studi menunjukkan bahwa sistem PLTS tetap memiliki potensi yang cukup menjanjikan. Sebagai contoh, studi implementasi PLTS pada fasilitas pendidikan di Ibu Kota Nusantara (IKN) menunjukkan bahwa proyek tersebut layak secara ekonomi dengan titik impas investasi (Break Even Point) sekitar tahun ke-16 operasional(Fakhraian et al. 2021). Temuan ini menunjukkan bahwa

meskipun investasi awal cukup besar, manfaat ekonomi jangka panjang dapat diperoleh melalui penghematan biaya listrik dan peningkatan kemandirian energi.

Meskipun berbagai penelitian mengenai PLTS telah dilakukan, masih terdapat keterbatasan dalam sintesis hasil penelitian yang secara khusus membahas kelayakan ekonomi implementasi energi surya pada bangunan pendidikan (Firdaus and Zublie 2023). Namun, studi yang secara khusus melakukan sintesis sistematis terhadap kelayakan ekonomi PLTS pada bangunan pendidikan masih terbatas dan belum mengintegrasikan indikator ekonomi seperti NPV, IRR, Payback Period, dan LCOE dalam satu kajian Systematic Literature Review. Oleh karena itu, penelitian ini bertujuan untuk melakukan Systematic Literature Review (SLR) guna mengidentifikasi, menganalisis, dan mensintesis temuan-temuan penelitian terkait kelayakan ekonomi implementasi energi surya pada bangunan pendidikan. Hasil penelitian diharapkan dapat memberikan gambaran komprehensif mengenai faktor-faktor yang memengaruhi kelayakan ekonomi serta menjadi referensi bagi pengambil kebijakan, institusi pendidikan, dan peneliti dalam pengembangan energi terbarukan di sektor pendidikan (Sart et al. 2022).

B. METODE

Penelitian ini menggunakan metode Systematic Literature Review atau SLR untuk menganalisis kelayakan ekonomi implementasi energi surya pada bangunan pendidikan (Cristea, Cristea, and Micu 2022). Metode ini dilakukan dengan menelusuri, memilih, mengkaji, dan mensintesis artikel ilmiah yang membahas penerapan sistem Pembangkit Listrik Tenaga Surya atau PLTS pada sekolah, universitas, dan fasilitas pendidikan lainnya (Stops 2022). Literatur diperoleh melalui beberapa basis data ilmiah, yaitu Scopus, ScienceDirect, Web of Science, dan Google Scholar. Proses pencarian literatur menggunakan kombinasi kata kunci berbasis Boolean operator, yaitu (“solar PV” OR “photovoltaic system”) AND (“educational building” OR “school” OR “university”) AND (“economic feasibility” OR “NPV” OR “IRR” OR “LCOE”). Kata kunci yang digunakan disesuaikan dengan fokus penelitian, seperti *solar energy and educational buildings*, *photovoltaic and school buildings*, *economic feasibility and solar PV*, serta *techno-economic analysis and educational facilities*.

Selanjutnya, proses seleksi literatur dilakukan melalui beberapa tahapan sistematis meliputi identifikasi, penyaringan, kelayakan, dan penetapan studi akhir sesuai dengan kriteria inklusi dan eksklusi yang telah ditentukan (Delucchi et al. 2023). Penelitian ini menggunakan pendekatan PRISMA (Preferred Reporting Items for Systematic Reviews and Meta-Analyses) untuk memastikan proses seleksi literatur dilakukan secara sistematis dan transparan.

Tahap	Aktivitas	Output
Identifikasi	Penelusuran artikel dari database Scopus, ScienceDirect, Web of Science, Google Scholar	Kumpulan artikel awal
Penyaringan (Screening)	Seleksi berdasarkan judul, abstrak, dan relevansi topik PLTS pada bangunan Pendidikan	Artikel yang relevan
Kriteria Inklusi & Eksklusi	Tahun publikasi 2015–2026, bereputasi, fokus PLTS pendidikan, memuat analisis ekonomi	Artikel terpilih
Ekstraksi Data	Pengambilan variabel: lokasi, kapasitas PLTS, NPV, IRR, PP, LCOE, COE	Dataset terstruktur
Analisis	Analisis deskriptif kualitatif terhadap indikator ekonomi	Pola dan temuan utama
Sintesis	Penggabungan hasil seluruh studi	Kesimpulan SLR

Tabel 1. Tahapan Systematic Literature Review (SLR) dalam Penelitian

Hasil proses seleksi menunjukkan bahwa dari total [X] artikel awal, sebanyak [X] artikel lolos tahap screening, kemudian [X] artikel memenuhi kriteria eligibility, dan akhirnya diperoleh [X] artikel yang dianalisis dalam penelitian ini. Tahapan Systematic Literature Review (SLR) dalam penelitian ini dilakukan secara sistematis untuk memastikan proses seleksi literatur berlangsung objektif, transparan, dan dapat direplikasi. Tahap pertama adalah identifikasi, yaitu proses penelusuran artikel ilmiah dari berbagai database seperti Scopus, ScienceDirect, Web of Science, dan Google Scholar menggunakan kata kunci yang telah ditentukan sesuai dengan fokus penelitian. Pada tahap ini diperoleh kumpulan artikel awal yang masih bersifat umum dan belum disaring berdasarkan relevansi.

Tahap kedua adalah penyaringan (screening), yaitu proses penghapusan artikel yang tidak relevan berdasarkan duplikasi data serta kesesuaian topik awal melalui pembacaan judul dan abstrak. Artikel yang tidak membahas implementasi PLTS pada bangunan pendidikan atau tidak memiliki fokus pada aspek kelayakan ekonomi dikeluarkan dari proses analisis.

Tahap ketiga adalah kelayakan (eligibility), yaitu proses evaluasi lebih mendalam terhadap artikel yang tersisa dengan membaca teks lengkap. Pada tahap ini dilakukan seleksi berdasarkan kesesuaian isi artikel dengan kriteria inklusi, yaitu membahas implementasi PLTS pada bangunan pendidikan serta memuat indikator analisis kelayakan ekonomi seperti NPV, IRR, Payback Period, dan LCOE.

Tahap keempat adalah inklusi (inclusion), yaitu penetapan artikel akhir yang memenuhi seluruh kriteria penelitian. Artikel yang lolos pada tahap ini kemudian digunakan sebagai basis data utama dalam proses sintesis dan analisis deskriptif kualitatif untuk menjawab tujuan penelitian.

Artikel yang dianalisis dipilih berdasarkan kriteria inklusi dan eksklusi agar sesuai dengan tujuan penelitian. Kriteria inklusi meliputi artikel ilmiah bereputasi, terbit tahun 2015 sampai 2026, membahas implementasi PLTS pada bangunan pendidikan, serta memuat analisis kelayakan ekonomi (Sadowska, Piotrowska-woroniak, and Woroniak 2022). Data dari artikel terpilih kemudian dikelompokkan berdasarkan lokasi penelitian, jenis bangunan pendidikan, kapasitas sistem PLTS, indikator ekonomi, hasil penghematan energi, dan faktor yang memengaruhi kelayakan investasi. Analisis dilakukan secara deskriptif kualitatif dengan meninjau indikator ekonomi seperti NPV, IRR, Payback Period, LCOE, COE, dan BCR. Hasil analisis kemudian disintesis untuk memperoleh gambaran mengenai tingkat kelayakan ekonomi, faktor dominan, serta potensi penerapan energi surya pada bangunan pendidikan (Ahmed et al. 2022).

C. HASIL DAN PEMBAHASAN

1. Hasil Penelitian

Berdasarkan pencarian literatur pada database Scopus, ScienceDirect, Web of Science, dan Google Scholar menggunakan kata kunci yang telah ditentukan, diperoleh sejumlah

artikel yang relevan dengan topik kelayakan ekonomi implementasi energi surya pada bangunan pendidikan. Setelah dilakukan proses penyaringan berdasarkan kriteria inklusi dan eksklusi, diperoleh artikel yang memenuhi syarat untuk dianalisis lebih lanjut. Literatur yang terpilih umumnya membahas analisis kelayakan ekonomi sistem Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) pada sekolah, universitas, dan fasilitas pendidikan lainnya dengan menggunakan indikator ekonomi seperti Net Present Value (NPV), Internal Rate of Return (IRR), Payback Period (PP), dan Levelized Cost of Energy (LCOE).

1.2. Karakteristik Literatur yang Dianalisis

Hasil kajian menunjukkan bahwa penelitian mengenai implementasi energi surya pada bangunan pendidikan banyak dilakukan di negara berkembang maupun negara maju seperti Indonesia, Malaysia, India, Brasil, Amerika Serikat, dan beberapa negara Eropa.

Karakteristik penelitian yang ditemukan meliputi:

Aspek	Hasil Temuan
Periode Publikasi	2015–2026
Jenis Bangunan	Sekolah dasar, sekolah menengah, universitas
Teknologi	PLTS Atap (Rooftop Solar PV)
Metode Analisis	NPV, IRR, PP, LCOE, BCR
Fokus Kajian	Kelayakan ekonomi, penghematan energi, pengurangan emisi karbon

Tabel 2. Karakteristik Literatur yang Dianalisis

Berdasarkan Tabel 2, tersebut merangkum bahwa penelitian tentang PLTS Atap pada bangunan pendidikan berkembang pada periode 2015–2026. Objek kajiannya mencakup sekolah dasar, sekolah menengah, dan universitas. Teknologi yang banyak dikaji adalah PLTS Atap atau *Rooftop Solar PV* karena sesuai dengan karakter bangunan pendidikan yang umumnya memiliki area atap cukup luas.

Penelitian-penelitian tersebut menggunakan metode analisis ekonomi seperti NPV, IRR, PP, LCOE, dan BCR untuk menilai kelayakan investasi. Fokus utamanya meliputi kelayakan ekonomi, penghematan energi listrik, serta pengurangan emisi karbon. PLTS atap merupakan teknologi yang berpotensi meningkatkan efisiensi energi dan mendukung

keberlanjutan lingkungan pada sektor pendidikan berdasarkan hasil kajian literatur yang dianalisis.

1.3. Sintesis Literature

Hasil analisis literatur menunjukkan bahwa implementasi Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) pada bangunan pendidikan memiliki variasi hasil kelayakan ekonomi berdasarkan lokasi, kapasitas sistem, dan kondisi radiasi matahari. Sebagian besar studi menunjukkan nilai Net Present Value (NPV) positif, Internal Rate of Return (IRR) di atas tingkat kelayakan minimum, serta Payback Period (PP) yang masih berada dalam umur ekonomis sistem PLTS. Selain itu, nilai Levelized Cost of Energy (LCOE) pada beberapa studi lebih rendah dibandingkan tarif listrik konvensional, sehingga menunjukkan bahwa PLTS memiliki daya saing ekonomi yang baik. Secara umum, hasil sintesis menunjukkan bahwa faktor utama yang memengaruhi kelayakan ekonomi PLTS pada bangunan pendidikan adalah biaya investasi awal, tarif listrik, intensitas radiasi matahari, serta kebijakan pemerintah yang mendukung energi terbarukan.

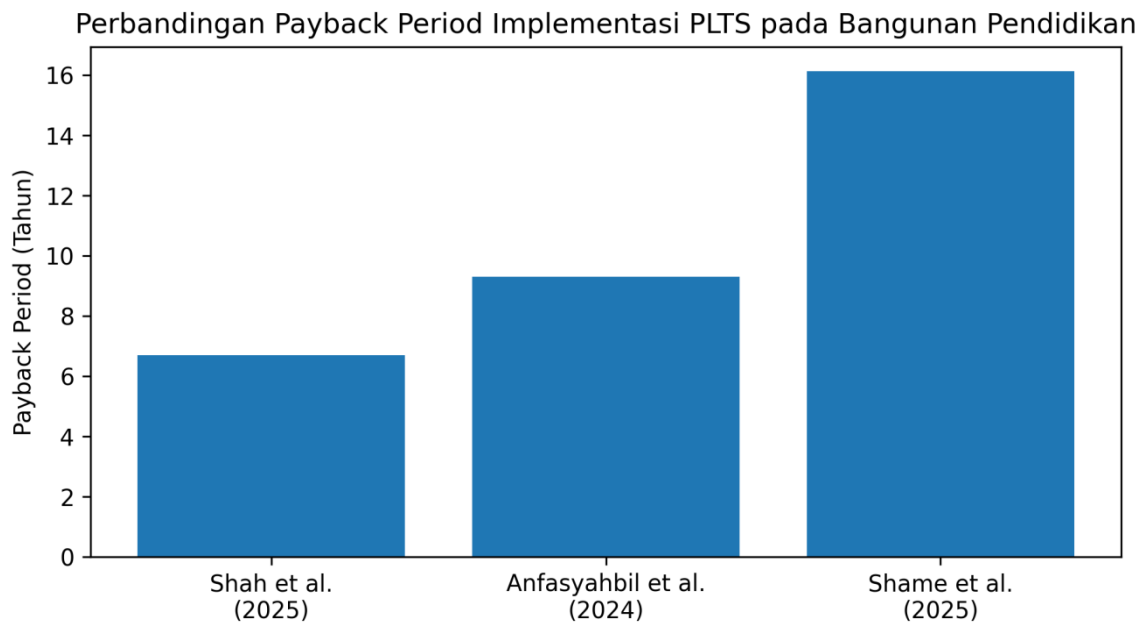
1.4. Hasil Analisis Kelayakan Ekonomi

Berdasarkan literatur yang ditinjau, sebagian besar penelitian menunjukkan bahwa implementasi PLTS pada bangunan pendidikan memberikan manfaat ekonomi yang positif dalam jangka panjang.

Beberapa hasil yang ditemukan antara lain:

1. Nilai NPV pada sebagian besar penelitian menunjukkan nilai positif, yang mengindikasikan bahwa investasi PLTS layak untuk dilaksanakan.
2. Nilai IRR umumnya berada di atas tingkat suku bunga atau Minimum Attractive Rate of Return (MARR), sehingga investasi dinilai menguntungkan.
3. Periode pengembalian modal (Payback Period) berkisar antara 6 hingga 16 tahun tergantung kapasitas sistem, biaya investasi, dan tarif listrik setempat.
4. Nilai LCOE yang dihasilkan lebih rendah dibandingkan biaya listrik konvensional pada beberapa lokasi penelitian.

Untuk memperjelas perbandingan periode pengembalian modal dari beberapa penelitian yang ditinjau, data tersebut disajikan pada Gambar 1.



Gambar 1. Perbandingan Payback Period (PP) Implementasi PLTS pada Bangunan Pendidikan Berdasarkan Literatur yang Ditinjau

Berdasarkan Gambar 1, penelitian yang dilakukan oleh Shah et al. (2025) menunjukkan periode pengembalian modal tercepat yaitu 6,7 tahun. Sementara itu, penelitian Anfasyahbil et al. (2024) menunjukkan periode pengembalian modal sebesar 9,3 tahun. Penelitian oleh Shame et al. (2025) memiliki periode pengembalian modal paling lama yaitu 16,13 tahun. Perbedaan tersebut dipengaruhi oleh kapasitas sistem PLTS yang digunakan, biaya investasi awal, kondisi radiasi matahari, serta tarif listrik pada masing-masing lokasi penelitian. Semakin pendek nilai *Payback Period*, semakin cepat investasi dapat kembali dan semakin menarik proyek tersebut untuk dilaksanakan.

1.5. Pembahasan Faktor-Faktor yang Mempengaruhi Kelayakan Ekonomi Secara Matematis

Analisis kelayakan ekonomi implementasi energi surya pada bangunan pendidikan tidak hanya dipengaruhi oleh aspek teknis dan lingkungan, tetapi juga dapat dijelaskan secara matematis melalui beberapa parameter ekonomi yang umum digunakan, yaitu Net Present Value (NPV), Internal Rate of Return (IRR), Payback Period (PP), dan Levelized Cost of Energy (LCOE).

- **Pengaruh Biaya Investasi Awal terhadap Kelayakan Ekonomi**

Biaya investasi awal (Initial Investment Cost) merupakan komponen terbesar dalam pembangunan sistem PLTS. Secara matematis, biaya investasi awal akan mempengaruhi nilai NPV yang dihitung menggunakan Persamaan (1).

$$NPV = \sum_{i=1}^n \frac{CF_t}{(1+i)^t} - I_0$$

Keterangan:

- NPV = Net Present Value (Rp)
- CF_t = Arus kas bersih tahun ke-t (Rp)
- I = Tingkat suku bunga (%)
- N = Umur proyek (tahun)
- I₀ = Investasi awal (Rp)

Berdasarkan persamaan tersebut, semakin besar nilai investasi awal (I₀), maka nilai NPV akan semakin kecil. Sebaliknya, penurunan biaya pemasangan panel surya dapat meningkatkan nilai NPV sehingga proyek menjadi lebih layak untuk dilaksanakan.

Sebagai contoh, apabila penghematan listrik per tahun sebesar Rp40.000.000 dengan umur proyek 25 tahun dan investasi awal Rp400.000.000, maka nilai NPV akan lebih tinggi dibandingkan investasi awal Rp600.000.000 dengan kondisi yang sama.

- **Pengaruh Tarif Listrik terhadap Penghematan Energi**

Manfaat ekonomi utama dari PLTS berasal dari pengurangan biaya pembelian listrik dari jaringan PLN. Besarnya penghematan listrik tahunan dapat dihitung menggunakan Persamaan (2)

$$S = E \times TDL$$

Keterangan:

- S = Penghematan biaya listrik tahunan (Rp/tahun)
- E = Energi listrik yang dihasilkan PLTS (kWh/tahun)
- TDL = Tarif dasar listrik (Rp/kWh)

Dari persamaan tersebut dapat diketahui bahwa peningkatan tarif listrik akan meningkatkan nilai penghematan tahunan. Oleh karena itu, pada wilayah dengan tarif listrik yang tinggi, implementasi PLTS cenderung memiliki tingkat kelayakan ekonomi yang lebih baik.

Sebagai ilustrasi:

$$S = 50.000 \times 1.700$$
$$S = \text{Rp}85.000.000/.000/\text{tahun}$$

Artinya, apabila sistem PLTS menghasilkan energi sebesar 50.000 kWh per tahun dengan tarif listrik Rp1.700/kWh, maka institusi pendidikan dapat menghemat biaya listrik sebesar Rp85 juta per tahun.

- **Pengaruh Intensitas Radiasi Matahari terhadap Produksi Energi**

Produksi energi listrik PLTS dipengaruhi oleh intensitas radiasi matahari yang diterima panel surya. Secara matematis, energi yang dihasilkan dapat dihitung menggunakan Persamaan (3).

$$E = A \times G \times \eta \times PR$$

Keterangan:

- E = Energi listrik tahunan (kWh)
- A = Luas panel surya (m²)
- G = Intensitas radiasi matahari (kWh/m²/tahun)
- η = Efisiensi panel (%)
- PR = Performance Ratio

Persamaan tersebut menunjukkan bahwa semakin tinggi intensitas radiasi matahari, maka semakin besar energi listrik yang dihasilkan. Indonesia sebagai negara tropis memiliki potensi radiasi matahari rata-rata sekitar 4–5,5 kWh/m²/hari sehingga sangat mendukung pengembangan PLTS pada bangunan pendidikan.

Peningkatan energi yang dihasilkan akan berdampak langsung pada peningkatan penghematan listrik dan nilai NPV proyek.

- **Pengaruh Umur Operasi Sistem terhadap Nilai Investasi**

Umur operasi sistem PLTS umumnya berkisar antara 20–25 tahun. Semakin panjang umur operasi sistem, semakin banyak arus kas positif yang diterima selama masa investasi.

Secara matematis, nilai sekarang dari manfaat ekonomi dihitung menggunakan konsep Present Worth (PW):

$$PW = A \left(\frac{(1+i)^n - 1}{i(1+i)^n} \right)$$

Keterangan:

- PW = Present Worth
- A = Penghematan tahunan
- I = Tingkat bunga
- N = Umur proyek

Dari persamaan tersebut dapat dilihat bahwa peningkatan umur proyek (nnn) akan meningkatkan nilai Present Worth sehingga kelayakan ekonomi proyek menjadi lebih baik.

- **Pengaruh Kebijakan Pemerintah terhadap Payback Period**

Periode pengembalian modal (Payback Period) dapat dihitung menggunakan Persamaan (5).

$$PP = \frac{\text{Investasi Awal}}{\text{Penghematan Tahunan}}$$

Misalnya:

$$PP = \frac{Rp500.000.000}{Rp75.000.000}$$

$$PP = 6,67 \text{ Tahun}$$

Apabila pemerintah memberikan subsidi sebesar 20% dari biaya investasi, maka investasi awal menjadi:

$$\begin{aligned} &Rp500.000.000 - (20\% \times Rp500.000.000) \\ &= Rp400.000.000 \end{aligned}$$

Sehingga:

$$PP = \frac{Rp400.000.000}{Rp75.000.000}$$

$$PP = 5,33 \text{ Tahun}$$

Hasil tersebut menunjukkan bahwa kebijakan subsidi mampu mempercepat pengembalian investasi sekitar 1,34 tahun.

- **Analisis Levelized Cost of Energy (LCOE)**

LCOE digunakan untuk mengetahui biaya produksi listrik selama umur proyek dan dihitung menggunakan Persamaan (6).

$$LCOE = \frac{\sum_{t=0}^n \frac{C_t}{(1+i)^t}}{\sum_{t=0}^n \frac{E_t}{(1+i)^t}}$$

Keterangan:

- LCOE = Biaya energi listrik (Rp/kWh)
- C_t = Biaya pada tahun ke-t (Rp)
- E_t = Produksi energi tahun ke-t (kWh)
- I = Tingkat diskonto
- n = Umur proyek

Suatu proyek PLTS dikatakan ekonomis apabila nilai LCOE lebih rendah dibandingkan tarif listrik yang berlaku. Semakin rendah nilai LCOE, maka semakin kompetitif biaya listrik yang dihasilkan oleh sistem PLTS.

2. Pembahasan

2.1. Kelayakan Ekonomi Implementasi Energi Surya pada Bangunan Pendidikan

Penulis	Tahun	Judul Penelitian	Objek Penelitian	Indikator Ekonomi	Hasil Utama
(Universitas and Sumbawa 2024)	2024	Feasibility Study of Rooftop Solar PV System at the Lab	Gedung Laboratorium Universitas Teknologi Sumbawa	NPV, IRR, ROI, PP	NPV = Rp907.811.227, IRR = 6,20%, ROI = 65,6%, PP = 9,3 tahun.

		Integrated Building Universitas Teknologi Sumbawa			Investasi dinyatakan layak.
(Multimedia and Pvsyst 2024)	2024	Analyzing the Feasibility of Photovoltaic Solar Systems in the Parking Area of Universitas Multimedia Nusantara	Area Parkir Universitas Multimedia Nusantara	NPV, IRR	NPV = Rp4.380.435.791 dan IRR = 34,28%. Sistem dinyatakan layak secara ekonomi.
(Shah et al. 2025)	2025	Examining the Techno-Economic Viability of Institutional Energy Generation Through Rooftop Solar Photovoltaic	Bangunan Sekolah di Kathmandu, Nepal	ROI, PP	ROI sebesar 211,4% dan PP = 6,7 tahun. Sistem layak diterapkan.
(Shame, Haji, and Prasetyo 2025)	2025	Implementation of Rooftop Solar Photovoltaic Systems in Educational Facilities at IKN	Bangunan Sekolah di Kathmandu, Nepal	COE, BEP	COE = Rp1.174,26/kWh dan BEP = 16,13 tahun. Sistem layak secara ekonomi.
(Asante et al. 2024)	2023	Techno-economic Analysis of Solar PV Electricity Generation at the University of Environment and Sustainable Development in Ghana	Universitas di Ghana	NPV, IRR, DPP	NPV = 15,15 juta GHS, IRR = 21%, DPP = 8 tahun. Investasi sangat menguntungkan.

Berdasarkan hasil Systematic Literature Review (SLR) yang telah dilakukan, implementasi energi surya melalui sistem Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) pada bangunan pendidikan secara umum menunjukkan tingkat kelayakan ekonomi yang baik. Hal ini dibuktikan oleh sebagian besar penelitian yang menunjukkan nilai Net Present Value (NPV) positif, Internal Rate of Return (IRR) yang berada di atas Minimum Attractive Rate of Return (MARR), serta Payback Period (PP) yang masih berada dalam rentang umur ekonomis sistem PLTS.

Hasil penelitian yang ditinjau menunjukkan bahwa periode pengembalian investasi berkisar antara 6 hingga 16 tahun. Nilai tersebut masih tergolong layak mengingat umur operasional panel surya umumnya mencapai 20–25 tahun. Dengan demikian, setelah investasi kembali, institusi pendidikan masih dapat menikmati manfaat ekonomi berupa penghematan biaya listrik selama sisa umur operasional sistem.

Selain itu, beberapa penelitian juga menunjukkan bahwa nilai Levelized Cost of Energy (LCOE) yang dihasilkan PLTS lebih rendah dibandingkan biaya listrik konvensional. Kondisi ini menunjukkan bahwa penggunaan energi surya mampu menjadi alternatif penyediaan energi yang ekonomis dan berkelanjutan bagi bangunan pendidikan.

2.2. Pengaruh Biaya Investasi Awal terhadap Kelayakan Ekonomi

Berdasarkan hasil sintesis literatur, biaya investasi awal merupakan faktor yang paling berpengaruh terhadap kelayakan ekonomi implementasi PLTS. Biaya investasi mencakup pembelian panel surya, inverter, sistem pendukung, instalasi, serta biaya perencanaan dan pengujian sistem.

Tingginya biaya investasi awal menyebabkan nilai NPV menjadi lebih kecil dan periode pengembalian modal menjadi lebih lama. Sebaliknya, penurunan harga teknologi fotovoltaik yang terjadi dalam beberapa tahun terakhir telah meningkatkan daya tarik investasi energi surya. Oleh karena itu, bangunan pendidikan yang memperoleh bantuan pendanaan atau subsidi investasi cenderung memiliki tingkat kelayakan ekonomi yang lebih tinggi dibandingkan yang sepenuhnya menggunakan modal sendiri.

2.3. Pengaruh Tarif Listrik terhadap Penghematan Energi

Tarif listrik merupakan salah satu faktor yang menentukan besarnya manfaat ekonomi yang diperoleh dari implementasi PLTS. Semakin tinggi tarif listrik yang berlaku, maka semakin besar pula penghematan biaya listrik yang dapat diperoleh melalui penggunaan energi surya.

Hasil kajian menunjukkan bahwa bangunan pendidikan dengan konsumsi energi yang tinggi memiliki potensi penghematan yang lebih besar dibandingkan bangunan dengan konsumsi energi rendah. Oleh karena itu, penerapan PLTS pada kampus, laboratorium, gedung perkuliahan, dan sekolah dengan kebutuhan listrik yang besar cenderung menghasilkan tingkat keuntungan ekonomi yang lebih baik.

2.4. Pengaruh Intensitas Radiasi Matahari terhadap Produksi Energi

Produksi energi listrik yang dihasilkan oleh PLTS sangat dipengaruhi oleh intensitas radiasi matahari yang diterima panel surya. Negara Indonesia yang berada di wilayah tropis memiliki potensi energi surya yang cukup besar dengan rata-rata intensitas radiasi matahari sekitar 4–5,5 kWh/m²/hari.

Tingginya radiasi matahari akan meningkatkan produksi energi listrik tahunan sehingga jumlah energi yang dapat menggantikan konsumsi listrik dari jaringan PLN menjadi lebih besar. Kondisi ini berdampak pada meningkatnya penghematan biaya listrik, meningkatnya nilai NPV dan IRR, serta menurunkan periode pengembalian investasi. Oleh karena itu, pemilihan lokasi pemasangan PLTS menjadi salah satu aspek penting dalam analisis kelayakan ekonomi.

2.5. Analisis Perbandingan Payback Period pada Literatur yang Ditinjau

Berdasarkan Gambar 4.1, terdapat variasi nilai Payback Period pada penelitian yang ditinjau. Penelitian Shah et al. (2025) menunjukkan periode pengembalian investasi tercepat yaitu 6,7 tahun, sedangkan penelitian Anfasyahbil et al. (2024) menunjukkan periode pengembalian investasi sebesar 9,3 tahun. Sementara itu, penelitian Shame et al. (2025) menunjukkan periode pengembalian investasi paling lama yaitu 16,13 tahun.

Perbedaan tersebut menunjukkan bahwa kelayakan ekonomi PLTS dipengaruhi oleh berbagai faktor, seperti kapasitas sistem yang dipasang, biaya investasi awal, efisiensi teknologi yang digunakan, tingkat radiasi matahari, serta kebijakan energi yang berlaku pada masing-masing lokasi penelitian. Semakin pendek nilai Payback Period yang diperoleh, maka semakin cepat investasi dapat kembali dan semakin menarik proyek tersebut untuk dilaksanakan.

2.6. Peran Kebijakan Pemerintah dalam Meningkatkan Kelayakan Investasi

Hasil kajian literatur menunjukkan bahwa dukungan kebijakan pemerintah memiliki peran penting dalam meningkatkan kelayakan ekonomi implementasi PLTS. Bentuk dukungan tersebut dapat berupa subsidi investasi, insentif pajak, program energi terbarukan, serta kebijakan net-metering yang memungkinkan pengguna menyalurkan kelebihan energi listrik ke jaringan listrik nasional.

Keberadaan insentif tersebut mampu menurunkan biaya investasi awal dan mempercepat periode pengembalian modal. Dengan demikian, dukungan pemerintah menjadi salah satu faktor yang dapat mempercepat adopsi energi surya pada sektor pendidikan.

2.7. Implikasi Implementasi Energi Surya pada Bangunan Pendidikan

Selain memberikan manfaat ekonomi, implementasi energi surya pada bangunan pendidikan juga memberikan manfaat lingkungan dan edukasi. Penggunaan PLTS dapat mengurangi konsumsi energi berbasis bahan bakar fosil sehingga berkontribusi terhadap penurunan emisi gas rumah kaca dan mendukung pembangunan berkelanjutan.

Dari aspek pendidikan, keberadaan sistem PLTS dapat dimanfaatkan sebagai sarana pembelajaran bagi siswa dan mahasiswa dalam memahami teknologi energi terbarukan. Oleh karena itu, implementasi energi surya tidak hanya memberikan keuntungan finansial, tetapi juga mendukung peningkatan kesadaran lingkungan dan pengembangan pendidikan berbasis teknologi hijau.

2.8. Sintesis Hasil Penelitian

Berdasarkan hasil kajian literatur yang telah dilakukan, dapat disimpulkan bahwa implementasi energi surya pada bangunan pendidikan secara umum layak untuk

diterapkan dari aspek ekonomi. Kelayakan tersebut dipengaruhi oleh biaya investasi awal, tarif listrik, intensitas radiasi matahari, umur operasional sistem, efisiensi teknologi, serta dukungan kebijakan pemerintah. Dengan potensi energi surya yang melimpah di Indonesia, penerapan PLTS pada sektor pendidikan memiliki prospek yang sangat baik untuk mendukung efisiensi energi, penghematan biaya operasional, dan pencapaian tujuan pembangunan berkelanjutan.

C. PENUTUP

Simpulan

Berdasarkan hasil Systematic Literature Review (SLR) terhadap [X] artikel yang memenuhi kriteria inklusi, implementasi energi surya melalui sistem Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) pada bangunan pendidikan secara umum menunjukkan kelayakan ekonomi yang baik. Sebagian besar studi menunjukkan bahwa investasi PLTS menghasilkan manfaat ekonomi jangka panjang melalui penghematan biaya listrik dengan indikator kelayakan yang memenuhi kriteria ekonomi investasi. Sebagian besar penelitian yang ditinjau menunjukkan bahwa investasi PLTS mampu memberikan manfaat ekonomi jangka panjang melalui penghematan biaya listrik, dengan nilai indikator ekonomi yang menunjukkan bahwa proyek layak untuk dilaksanakan. Kelayakan ekonomi implementasi PLTS dipengaruhi oleh berbagai faktor, antara lain biaya investasi awal, tarif listrik, intensitas radiasi matahari, umur operasional sistem, efisiensi teknologi, serta dukungan kebijakan pemerintah. Di antara faktor-faktor tersebut, biaya investasi awal menjadi faktor yang paling menentukan karena berpengaruh langsung terhadap nilai investasi dan periode pengembalian modal. Potensi energi surya yang tinggi di Indonesia menjadi peluang yang besar untuk pengembangan PLTS pada sektor pendidikan. Selain memberikan manfaat ekonomi berupa efisiensi biaya operasional, penerapan energi surya juga memberikan manfaat lingkungan melalui pengurangan emisi karbon serta manfaat edukatif sebagai sarana pembelajaran mengenai energi terbarukan. Oleh karena itu, implementasi PLTS pada bangunan pendidikan dapat menjadi salah satu solusi yang mendukung terciptanya sistem pendidikan yang berkelanjutan dan ramah lingkungan.

Saran

Pengembangan dan penerapan PLTS pada bangunan pendidikan perlu terus didorong sebagai upaya meningkatkan efisiensi energi dan mengurangi ketergantungan terhadap sumber energi konvensional. Dukungan dari pemerintah melalui kebijakan, insentif, dan program pengembangan energi terbarukan sangat diperlukan untuk meningkatkan daya tarik investasi pada sektor pendidikan. Institusi pendidikan yang berencana menerapkan PLTS disarankan untuk melakukan analisis kelayakan yang komprehensif dengan mempertimbangkan kondisi lokasi, kebutuhan energi, kapasitas sistem, serta aspek ekonomi yang relevan agar investasi yang dilakukan dapat memberikan manfaat yang optimal. Penelitian selanjutnya diharapkan dapat menggunakan data primer dan studi kasus pada berbagai jenis bangunan pendidikan untuk memperoleh gambaran yang lebih spesifik mengenai kelayakan ekonomi implementasi energi surya. Selain itu, kajian mengenai integrasi PLTS dengan teknologi penyimpanan energi dan analisis manfaat lingkungan secara lebih mendalam juga perlu dilakukan guna mendukung pengembangan energi terbarukan yang berkelanjutan di sektor pendidikan.

DAFTAR PUSTAKA

- Ahmed, Junaid, Laveet Kumar, Abdul Fatah Abbasi, Mamdouh El, and Haj Assad. 2022. "Energy, Exergy, Environmental and Economic Analysis (4e) of a Solar Thermal System for Process Heating in Jamshoro, Pakistan." 15(22):1–18.
- Alfaoyzan, Faouzan Abdulaziz, and Radwan A. Almasri. 2023. "Benchmarking of Energy Consumption in Higher Education Buildings in Saudi Arabia to Be Sustainable : Sulaiman." 16(3):1–28.
- Asante, Kwame, Samuel Gyamfi, Mark Amo-boateng, and Forson Pephrah. 2024. "Techno-Economic Analysis of Solar PV Electricity Generation at the University of Environment and Sustainable Development in Ghana." *Energy Reports* 11(June 2023):1–15. doi: 10.1016/j.egyr.2023.12.028.
- Cristea, Ciprian, Maria Cristea, and Dan Doru Micu. 2022. "Tridimensional Sustainability and Feasibility Assessment of Grid-Connected Solar Photovoltaic Systems Applied for the Technical University of Cluj-Napoca." 14(17):1–23.
- Delucchi, Francesca, Camilla Canepa, Luigi Canullo, Paolo Pesce, and Gaetano Isola. 2023. "Biomarkers from Peri-Implant Crevicular Fluid (PICF) as Predictors of Peri-Implant Bone Loss : A Systematic Review." 24(4):1–17.
- Dimeas, Aris, and George Kiokes. 2022. "PV Penetration under Market Environment and

- with System Constraints.” 15(22):1–11.
- Fakhraian, Elham, Marc Alier, Francesc Valls Dalmau, Alireza Nameni, and Maria Jos. 2021. “The Urban Rooftop Photovoltaic Potential Determination.” 13(13):1–18.
- Firdaus, Muhammad, and Mohd Zublie. 2023. “Modeling , Energy Performance and Economic Analysis of Rooftop Solar Photovoltaic System for Net Energy Metering Scheme in Malaysia.” 16(2):1–18.
- Hoque, Fahimul, Ruhizan M. Yasin, and Kamaruzzaman Sopian. 2022. “Revisiting Education for Sustainable Development: Methods to Inspire Secondary School Students toward Renewable Energy.” 14(14):1–18.
- Multimedia, Universitas, and Nusantara A. Pvsyst. 2024. “Analyzing the Feasibility of Photovoltaic Solar Systems in the Parking Area of Universitas Multimedia Nusantara: A PVSyst Simulation-Based Investigation.” 8(3):1–7.
- Obaideen, Khaled, Abdul Ghani Olabi, Yaser Al Swailmeen, Nabila Shehata, Mohammad Ali Abdelkareem, Abdul Hai Alami, Cristina Rodriguez, and Enas Taha Sayed. 2023. “Solar Energy : Applications , Trends Analysis , Bibliometric Analysis and Research Contribution to Sustainable Development Goals (SDGs).” 15(2):1–34.
- Poland, North-east, and Katarzyna Brodzi. 2021. “Photovoltaic Farms — Economic Efficiency of Investments In.” 14(8):1–17.
- Sadowska, Beata, Joanna Piotrowska-woroniak, and Grzegorz Woroniak. 2022. “Energy and Economic Efficiency of the Thermomodernization of an Educational Building and Reduction of Pollutant Emissions — A Case Study.” 15(8):1–31.
- Sart, Gamze, Yilmaz Bayar, Funda Hatice Sezgin, and Marina Danilina. 2022. “Impact of Educational Attainment on Renewable Energy Use : Evidence from Emerging Market Economies.” 15(7):1–15.
- Shah, Malesh, Sirapa Shrestha, Rashmi Karki, Arjun Khadka, and Sambhranta Nidhi. 2025. “Examining The Techno-Economic Viability of Institutional Energy Generation Through Rooftop Solar Photovoltaic - A Case Study.” 8(2):1–12.
- Shame, Buruhan Haji, Mohammed M. Haji, and Singgih Dwi Prasetyo. 2025. “Mekanika : Majalah Ilmiah Mekanika Implementation of Rooftop Solar Photovoltaic Systems in Educational Facilities at Ibu Kota Nusantara (IKN).” 24(March):1–15.
- Stops, Bus. 2022. “Assessing the Potential of Implementing a Solar-Based Distributed

- Energy System for a University Using the Campus.” 15(10):1–16.
- Universitas, Building, and Teknologi Sumbawa. 2024. “FEASIBILITY STUDY OF ROOFTOP SOLAR PV SYSTEM AT THE LAB INTEGRATED BUILDING UNIVERSITAS TEKNOLOGI SUMBAWA.” 03(02):1–10.
- Zhu, Xingyu, Yuexia Lv, Jinpeng Bi, Mingkun Jiang, Yancai Su, and Tingting Du. 2023. “Techno-Economic Analysis of Rooftop Photovoltaic System under Different Scenarios in China University Campuses.” 16(7):1–18.