

Estimasi Potensi Energi Surya PLTS Atap Gedung Universitas Patompo Berbasis Iradiansi dan Kelayakan Ekonomi

Azizah Hadrawi^{1)*}, Nur Qalbi Tayibu²⁾, Ulil Amri³⁾, Andi Sri Yulianti⁴⁾

^{1)*} Prodi Elektro, Universitas Patompo, Makassar, azizahadrawi06@gmail.com

²⁾ Prodi Elektro, Universitas Patompo, Makassar, nurqalbi.tayibu@unpatompo.ac.id

³⁾ Prodi Elektro, Universitas Patompo, Makassar, bolsamry@gmail.com

⁴⁾ Prodi Statistika, Universitas Patompo, andisriyulianti@gmail.com

Abstract

The utilization of solar energy through rooftop photovoltaic (PV) systems is one strategy to increase the use of renewable energy in higher education buildings. Estimating PV potential based solely on roof area tends to produce unrealistic capacity figures because it does not account for the distribution of solar irradiance, shading, the geometric characteristics of the roof, and the layout constraints of PV modules. This study aims to estimate the solar energy potential and economic feasibility of a rooftop solar power plant on a building at Universitas Patompo, Makassar, using an irradiance analysis and PV module layout approach. The method integrates roof geometry data, surrounding environmental conditions, solar irradiance distribution, and the technical specifications and cost of PV modules. The analysis stages include identifying the effective roof area, analyzing irradiance and shading distribution, determining the layout and number of modules based on the roof's dimensions and geometric boundaries, estimating the installed capacity and annual energy production, and evaluating economic feasibility using the payback period method. This study does not use the building's actual electricity consumption data, so the evaluation focuses on the technical potential of energy generation and investment feasibility based on estimated electricity production. The results are expected to yield estimates of the effective roof area, PV capacity, annual energy production, investment cost, and payback period. This approach is expected to provide a more realistic planning basis for the development of rooftop solar power plants on higher education buildings in tropical regions.

Keywords: Solar Energy; Rooftop Photovoltaic; Solar Irradiance; Module Layout; Economic Feasibility

Abstrak

Pemanfaatan energi surya melalui sistem *photovoltaic* (PV) atap merupakan salah satu strategi untuk meningkatkan penggunaan energi terbarukan pada bangunan perguruan tinggi. Estimasi potensi PV yang hanya didasarkan pada luas atap dapat menghasilkan kapasitas yang kurang realistis karena belum mempertimbangkan distribusi iradiansi matahari, bayangan, karakteristik geometris atap, dan keterbatasan tata letak modul. Penelitian ini bertujuan mengestimasi potensi energi surya dan kelayakan ekonomi Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) atap pada gedung Universitas Patompo, Makassar, menggunakan pendekatan analisis iradiansi dan tata letak modul PV. Metode penelitian mengintegrasikan data geometris atap, kondisi lingkungan sekitar, distribusi iradiansi matahari, serta spesifikasi teknis dan biaya modul PV. Tahapan analisis meliputi identifikasi area atap efektif, analisis distribusi iradiansi dan bayangan, penentuan tata letak dan jumlah modul berdasarkan dimensi serta batas geometris atap, estimasi kapasitas terpasang dan produksi energi tahunan, serta evaluasi kelayakan ekonomi menggunakan *payback period*. Penelitian ini tidak menggunakan data konsumsi listrik aktual gedung sehingga evaluasi difokuskan pada potensi teknis pembangkitan energi dan kelayakan investasi berdasarkan estimasi produksi listrik. Hasil penelitian diharapkan menghasilkan estimasi luas area efektif, kapasitas PV, produksi energi tahunan, biaya investasi, dan periode pengembalian investasi. Pendekatan ini diharapkan memberikan dasar perencanaan yang lebih realistis bagi pengembangan PLTS atap pada bangunan perguruan tinggi di wilayah tropis.

Kata kunci: Energi Surya, Photovoltaic Atap, Iradiansi Matahari, Tata Letak Modul, Kelayakan Ekonomi

PENDAHULUAN

Kebutuhan energi listrik terus meningkat seiring dengan pertumbuhan aktivitas sosial dan ekonomi, sementara transisi menuju sumber energi rendah karbon menjadi semakin penting untuk mendukung ketahanan energi dan pengurangan emisi. Perkembangan energi terbarukan dalam beberapa tahun terakhir menunjukkan bahwa tenaga surya, khususnya solar *photovoltaic* (PV), menjadi salah satu

teknologi utama dalam ekspansi kapasitas pembangkitan energi terbarukan global (International Energy Agency, 2024; International Renewable Energy Agency, 2025). Aplikasi PV terdistribusi pada bangunan menjadi semakin relevan karena dapat memanfaatkan permukaan atap yang telah tersedia tanpa memerlukan tambahan lahan dalam skala besar. Dalam konteks Indonesia, pengembangan PLTS atap juga didukung oleh kebijakan pemerintah melalui Peraturan Menteri Energi dan Sumber Daya Mineral Nomor 2 Tahun 2024 tentang Pembangkit Listrik Tenaga Surya Atap (Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral Republik Indonesia, 2024).

Indonesia yang berada di wilayah tropis dan memiliki sumber daya radiasi matahari yang melimpah memiliki peluang besar untuk mengembangkan pembangkitan listrik berbasis PV. Pemetaan potensi energi surya di Indonesia telah menunjukkan bahwa informasi mengenai karakteristik sumber daya surya pada lokasi yang berbeda merupakan faktor penting dalam perencanaan sistem energi surya (Rumbayan et al., 2012). Studi terbaru di Indonesia juga menunjukkan besarnya potensi *rooftop* PV pada kawasan perkotaan. (Triana et al., 2024), misalnya, menggunakan analisis *building footprint*, penggunaan lahan, *Geographic Information System* (GIS), dan pengurangan akibat bayangan untuk mengestimasi potensi *rooftop* PV di Jakarta. Hasil tersebut menunjukkan bahwa analisis spasial dapat digunakan untuk mengidentifikasi area atap yang sesuai untuk instalasi PV sekaligus mengestimasi kapasitas dan produksi energi potensial.

Meskipun demikian, estimasi potensi PV yang hanya didasarkan pada luas total atap dapat menghasilkan estimasi yang terlalu tinggi apabila tidak mempertimbangkan kondisi geometris dan karakteristik radiasi pada permukaan atap. Faktor seperti orientasi, kemiringan, distribusi iradiansi, bayangan objek di sekitar bangunan, serta keterbatasan ruang untuk penempatan modul dapat secara langsung memengaruhi luas atap yang benar-benar dapat digunakan. Penelitian berbasis GIS pada wilayah ekuatorial menunjukkan bahwa karakteristik tiga dimensi atap, termasuk luas, kemiringan, orientasi, dan radiasi matahari yang diterima, perlu diperhitungkan untuk memperoleh estimasi potensi PV yang lebih realistis (Idrovo-Macancela et al., 2025). Pendekatan berbasis model tiga dimensi dan GIS juga telah digunakan untuk mengevaluasi potensi PV pada permukaan atap dan fasad bangunan pada skala yang lebih luas (Liang et al., 2024; Molnár et al., 2024).

Permasalahan tersebut menjadi semakin penting ketika tata letak modul PV aktual diperhitungkan. (Dong & Zhong, 2025) menunjukkan bahwa evaluasi potensi *rooftop* PV yang mempertimbangkan parameter instalasi modul, termasuk dimensi dan tata letak modul, dapat mengurangi estimasi kapasitas yang berlebihan dibandingkan pendekatan yang hanya mempertimbangkan area atap. Pendekatan serupa juga menunjukkan bahwa analisis potensi PV dapat dikembangkan secara multidimensional dengan menggabungkan potensi fisik, geografis, dan teknis (Liang et al., 2024). Pada skala bangunan, penggunaan model tiga dimensi berbasis GIS juga memungkinkan identifikasi area yang sesuai berdasarkan karakteristik geometris dan kondisi penyinaran (Liu et al., 2023).

Selain aspek teknis, kelayakan ekonomi merupakan komponen penting dalam menentukan apakah potensi teknis tersebut dapat diterjemahkan menjadi peluang implementasi nyata. Evaluasi kelayakan ekonomi dapat dilakukan melalui indikator seperti *payback period*, *net present value* (NPV), *levelized cost of energy* (LCOE), dan *profitability index*. Studi mengenai *rooftop* PV di Indonesia menunjukkan bahwa aspek biaya investasi dan mekanisme kebijakan memiliki pengaruh signifikan terhadap kelayakan ekonomi sistem PV atap, dengan periode pengembalian investasi yang berbeda menurut lokasi dan skenario kebijakan (Pramadya & Kim, 2024). Studi lain mengenai sistem PV pada bangunan institusi juga menunjukkan bahwa parameter desain, hasil energi, LCOE, dan *payback period* dapat digunakan secara terpadu untuk menilai kelayakan penerapan PV pada bangunan Pendidikan (Sharma et al., 2023). Sementara itu, evaluasi struktur pemasangan PV pada atap juga menunjukkan pentingnya mempertimbangkan aspek ekonomi dalam proses perencanaan instalasi PV (Perdigones et al., 2023).

Sejumlah penelitian tersebut menunjukkan bahwa penilaian potensi *rooftop* PV telah berkembang dari pendekatan sederhana berbasis luas atap menuju pendekatan yang mengintegrasikan informasi spasial, geometri bangunan, iradiansi, bayangan, tata letak modul, dan aspek ekonomi. Namun, masih

terdapat peluang untuk mengembangkan pendekatan yang sederhana dan dapat diterapkan pada tahap perencanaan awal bangunan institusi di wilayah tropis, khususnya ketika data konsumsi listrik aktual bangunan belum tersedia. Pendekatan semacam ini penting karena pengembang atau pengelola bangunan dapat memperoleh estimasi awal kapasitas, produksi energi, area pemasangan, dan kelayakan ekonomi sebelum melakukan pengumpulan data operasional yang lebih lengkap.

Berdasarkan uraian tersebut, penelitian ini bertujuan untuk mengestimasi potensi energi surya dan kelayakan ekonomi PLTS atap pada gedung Universitas Patompo, Makassar, menggunakan pendekatan analisis iradiansi, bayangan, dan tata letak modul PV. Kebaruan penelitian ini terletak pada integrasi analisis distribusi iradiansi dan bayangan, penentuan tata letak modul berdasarkan batas geometris atap, serta evaluasi kelayakan ekonomi menggunakan *payback period*. Pendekatan tersebut dirancang tanpa bergantung pada data konsumsi listrik aktual gedung, sehingga dapat digunakan sebagai metode perencanaan awal PLTS atap pada bangunan perguruan tinggi lain di wilayah tropis.

METODE PENELITIAN

Penelitian ini menggunakan pendekatan kuantitatif dengan memanfaatkan data spasial, data iradiasi matahari, serta data teknis dan ekonomi sistem PLTS. Data spasial gedung Universitas Patompo diperoleh dari Google Earth, yang digunakan untuk mengidentifikasi lokasi, bentuk dan batas atap, luas area atap, orientasi bangunan, serta objek di sekitar gedung yang berpotensi menimbulkan bayangan. Informasi tersebut selanjutnya digunakan untuk menentukan area atap yang secara geometris memungkinkan untuk pemasangan modul PV. Data iradiasi matahari wilayah Makassar diperoleh dari Global Solar Atlas dan digunakan untuk memperoleh informasi mengenai potensi sumber daya surya sebagai dasar estimasi energi yang dapat dihasilkan oleh sistem PV. Data tersebut digunakan bersama informasi spasial atap untuk menganalisis kesesuaian area pemasangan dan memperkirakan potensi produksi energi listrik. Data teknis sistem PV meliputi daya nominal, dimensi, efisiensi, dan karakteristik modul PV, serta kapasitas dan spesifikasi inverter. Data tersebut diperoleh dari datasheet dan katalog produsen. Sementara itu, data ekonomi meliputi harga modul PV, inverter, mounting system, serta biaya instalasi yang diperoleh dari katalog produk, informasi harga vendor, dan sumber data sekunder yang relevan.

Tahapan analisis penelitian ini terdiri atas lima tahap. Pertama, identifikasi area atap efektif dilakukan dengan mengeluarkan bagian atap yang tidak dapat dimanfaatkan, seperti area yang tertutup bayangan permanen, area dengan kemiringan yang tidak sesuai, serta area yang digunakan untuk peralatan mekanikal-elektrikal gedung. Kedua, analisis distribusi iradiansi dan bayangan dilakukan untuk mengetahui variasi penerimaan radiasi matahari pada permukaan atap sepanjang tahun akibat pengaruh objek di sekitarnya. Ketiga, penentuan tata letak dan jumlah modul PV dilakukan berdasarkan dimensi modul, jarak antar-modul (*row spacing*) untuk menghindari *self-shading*, serta batas geometris area atap efektif. Keempat, estimasi kapasitas terpasang dan produksi energi tahunan dihitung berdasarkan jumlah modul, spesifikasi daya modul, dan hasil analisis iradiansi. Kelima, evaluasi kelayakan ekonomi dilakukan dengan menghitung biaya investasi dan periode pengembalian investasi (*payback period*) berdasarkan estimasi produksi energi dan asumsi tarif substitusi listrik, tanpa menggunakan data konsumsi listrik aktual gedung.

Kapasitas terpasang PV dihitung menggunakan persamaan berikut:

$$P_{\text{v}} = N \times P_{\text{oxu}} \quad (1)$$

dengan P_{v} adalah kapasitas total terpasang (kWp), N adalah jumlah modul yang terpasang pada area atap efektif, dan P_{oxu} adalah daya puncak satu modul (kWp).

Produksi energi tahunan diestimasi menggunakan persamaan:

$$E = P_{\text{v}} \times H \times PR \quad (2)$$

dengan E adalah produksi energi tahunan (kWh/tahun), H adalah rata-rata iradiasi matahari tahunan pada bidang modul (dinyatakan dalam ekuivalen *peak sun hours* per tahun), dan PR adalah *performance*

ratio sistem yang memperhitungkan rugi-rugi akibat suhu, kabel, inverter, dan bayangan parsial.

Biaya investasi dihitung dengan persamaan:

$$C = P_{\text{pv}} \times c_{\text{pv}} \quad (3)$$

dengan C adalah total biaya investasi (Rp), dan c_{pv} adalah biaya investasi per kWp terpasang (Rp/kWp), termasuk modul, inverter, mounting system, dan instalasi.

Kelayakan ekonomi dievaluasi menggunakan periode pengembalian investasi (*payback period*), dihitung dengan persamaan:

$$PP = C / S \quad (4)$$

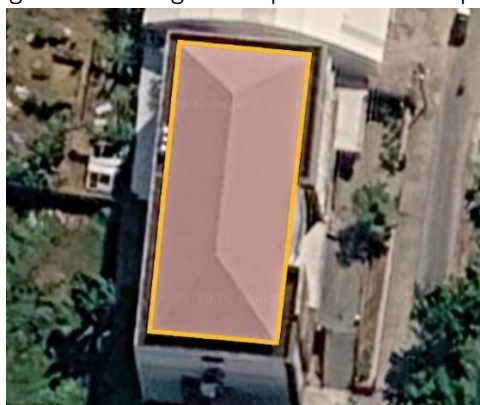
dengan PP adalah *payback period* (tahun), dan S adalah estimasi penghematan biaya listrik tahunan (Rp/tahun) yang diperoleh dari perkalian antara produksi energi tahunan (E) dan tarif listrik yang berlaku (Rp/kWh).

HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN

Bagian ini menyajikan hasil estimasi potensi energi surya PV atap gedung Universitas Patompo berdasarkan tahapan analisis yang telah dijelaskan pada bagian metode.

Area Atap Efektif

Berdasarkan hasil identifikasi luas atap gedung Universitas Patompo, diperoleh luas atap total sebesar 672,16 m², sebagaimana ditunjukkan pada Gambar 1. Setelah dikurangi area yang tidak dapat digunakan untuk pemasangan modul PV, seperti area yang mengalami bayangan permanen, area dengan kemiringan yang tidak sesuai, serta area yang digunakan untuk peralatan mekanikal dan elektrik, diperoleh luas atap efektif sebesar 470,51 m². Luas tersebut setara dengan sekitar 70% dari total luas atap dan selanjutnya digunakan sebagai area potensial untuk pemasangan modul PV.



Gambar 1. Peta Area Atap Gedung Universitas Patompo

Distribusi Iradiansi dan Bayangan

Lokasi gedung Universitas Patompo berada pada koordinat -5,182793° LS dan 119,462534° BT. Berdasarkan data Global Solar Atlas, lokasi penelitian memiliki nilai *Direct Normal Irradiation* (DNI) sebesar 1,439.9 kWh/m²/tahun, atau setara dengan rata-rata sekitar 3,94 kWh/m²/hari. DNI merupakan besarnya radiasi matahari langsung yang diterima oleh suatu permukaan yang berorientasi tegak lurus terhadap arah datangnya radiasi matahari. Nilai tersebut menunjukkan ketersediaan radiasi matahari langsung yang dapat dimanfaatkan sebagai salah satu sumber energi untuk sistem PV atap.

Distribusi iradiansi matahari pada bidang atap dianalisis untuk mengetahui variasi ketersediaan energi surya sepanjang tahun. Hasil analisis menunjukkan adanya variasi nilai iradiansi antarbulan yang dipengaruhi oleh perubahan kondisi atmosfer dan posisi matahari sepanjang tahun. Informasi tersebut penting dalam mengestimasi potensi pembangkitan energi PLTS atap karena jumlah energi yang dapat dihasilkan oleh modul PV bergantung pada besarnya radiasi matahari yang diterima.

Selain distribusi iradiansi, kondisi bayangan pada bidang atap juga dianalisis untuk mengidentifikasi kemungkinan terhalangnya penerimaan radiasi matahari oleh objek di sekitar gedung. Berdasarkan

hasil observasi dan analisis spasial, tidak ditemukan bayangan signifikan pada area atap yang direncanakan untuk pemasangan modul PV. Kondisi ini menunjukkan bahwa area atap relatif terbuka terhadap paparan radiasi matahari sehingga mendukung pemanfaatannya sebagai lokasi pemasangan PLTS atap. Distribusi irradiansi matahari bulanan pada bidang atap gedung Universitas Patompo disajikan pada Tabel 1.

Tabel 1. Distribusi Irradiansi Matahari Bulanan pada Bidang Atap Gedung Universitas Patompo Tahun 2025

Bulan	Irradiasi Rata-rata (kWh/m ² /hari)
Januari	67,2
Februari	69,4
Maret	65,2
April	116,4
Mei	130,3
Juni	123,2
Juli	147,3
Agustus	185,2
September	178,5
Oktober	156,7
November	105,8
Desember	72,6

Tata Letak dan Jumlah Modul PV

Berdasarkan hasil identifikasi, luas area atap efektif gedung Universitas Patompo adalah 470,51 m². Penentuan jumlah modul PV dilakukan berdasarkan kesesuaian antara luas dan bentuk area atap dengan dimensi fisik modul, serta mempertimbangkan batas geometris area pemasangan dan kebutuhan ruang bebas untuk akses dan pemeliharaan. Modul PV yang digunakan adalah tipe LR5-72HPH-550M dengan dimensi 2,278 m × 1,134 m dan daya nominal 550 Wp per modul.

Hasil analisis geometris menunjukkan bahwa sebanyak 70 unit modul PV dapat ditempatkan pada area atap efektif. Berdasarkan dimensi tersebut, luas fisik keseluruhan modul yang terpasang mencapai sekitar 180,83 m², atau setara dengan 38,43% dari luas area atap efektif. Dengan demikian, sekitar 61,57% area efektif atap tetap tersedia sebagai ruang bebas untuk memenuhi batas pemasangan, akses pemeliharaan, serta penyesuaian terhadap konfigurasi dan kondisi geometris atap.

Penentuan jumlah 70 modul dilakukan berdasarkan kapasitas ruang aktual yang tersedia, sehingga tidak semata-mata menggunakan perbandingan luas total atap dengan luas satu modul. Pendekatan ini menghasilkan estimasi kapasitas terpasang yang lebih konservatif dan realistis karena mempertimbangkan keterbatasan geometris area pemasangan. Jumlah modul tersebut selanjutnya digunakan sebagai dasar untuk menghitung kapasitas terpasang dan estimasi produksi energi sistem PLTS atap Universitas Patompo.

erdasarkan jumlah modul sebanyak 70 unit dan daya nominal 550 Wp per modul, kapasitas terpasang sistem PLTS atap adalah 38,5 kWp. Hasil penentuan tata letak dan jumlah modul ini selanjutnya menjadi dasar dalam analisis produksi energi dan kelayakan ekonomi sistem.

Estimasi Kapasitas Terpasang dan Produksi Energi Tahunan

Berdasarkan jumlah modul PV yang telah ditentukan pada tahap perancangan, kapasitas terpasang sistem PLTS atap dihitung menggunakan Persamaan (1) dan diperoleh sebesar 38,5 kWp. Selanjutnya, estimasi produksi energi tahunan dilakukan dengan mempertimbangkan performance ratio (PR) sistem sebesar 80% dan rata-rata irradiansi tahunan pada bidang modul (plane-of-array irradiation) sebesar 1.873,4 kWh/m²/tahun. Berdasarkan Persamaan (2), sistem PLTS atap dengan kapasitas tersebut diperkirakan mampu menghasilkan energi listrik sebesar 57.779,72 kWh/tahun, atau sekitar 57,78 MWh/tahun. Nilai tersebut merepresentasikan potensi produksi energi tahunan berdasarkan kondisi irradiansi dan parameter kinerja sistem yang diasumsikan. Dengan demikian, hasil estimasi ini digunakan

sebagai dasar untuk mengevaluasi potensi teknis dan ekonomi penerapan PLTS atap pada gedung Universitas Patompo.

Analisis Kelayakan Ekonomi

Analisis ekonomi dilakukan untuk memperoleh gambaran awal mengenai potensi kelayakan penerapan sistem PLTS atap berdasarkan kapasitas terpasang dan estimasi produksi energi tahunan. Biaya investasi awal dihitung menggunakan Persamaan (3) dengan mengacu pada kapasitas sistem sebesar 38,5 kWp. Dengan asumsi biaya investasi sebesar Rp15.000.000/kWp, yang mencakup modul PV, inverter, mounting system, instalasi, serta komponen pendukung lainnya, diperoleh estimasi total investasi awal sebesar Rp577.500.000.

Selanjutnya, estimasi produksi energi tahunan sebesar 57.779,72 kWh/tahun digunakan untuk menghitung nilai ekonomi energi yang dihasilkan. Dengan menggunakan tarif listrik substitusi sebesar Rp1.444,70/kWh, nilai ekonomi energi diperkirakan sebesar Rp83.491.000/tahun. Dalam penelitian ini, tarif tersebut digunakan sebagai parameter valuasi energi karena data konsumsi listrik aktual dan profil beban gedung Universitas Patompo tidak tersedia. Oleh karena itu, nilai ekonomi yang diperoleh merepresentasikan nilai substitusi energi listrik berdasarkan potensi produksi PLTS, bukan penghematan biaya listrik aktual gedung.

Berdasarkan Persamaan (4), simple payback period (SPP) diperoleh sebesar 6,92 tahun. Secara sederhana, nilai tersebut menunjukkan bahwa nilai ekonomi energi yang dihasilkan secara kumulatif secara teoritis dapat menyamai nilai investasi awal dalam waktu sekitar 6,9 tahun, dengan asumsi produksi energi dan nilai tarif yang digunakan tetap sepanjang periode analisis.

Namun demikian, nilai SPP tersebut perlu diinterpretasikan sebagai indikator awal kelayakan ekonomi berbasis potensi produksi energi, bukan sebagai periode pengembalian investasi berdasarkan arus kas operasional aktual. Ketiadaan data konsumsi listrik dan profil beban gedung menyebabkan analisis belum dapat memperhitungkan secara spesifik proporsi energi PV yang digunakan secara langsung (self-consumption) maupun energi yang berpotensi dialirkan ke jaringan. Selain itu, kondisi operasional aktual dapat memengaruhi manfaat ekonomi sistem, antara lain melalui variasi profil beban, perubahan produksi energi akibat kondisi cuaca, struktur tarif listrik, mekanisme ekspor atau kompensasi energi, serta biaya operasi dan pemeliharaan.

Dengan demikian, hasil analisis menunjukkan bahwa sistem PLTS atap berkapasitas 38,5 kWp memiliki potensi ekonomi yang cukup menjanjikan, dengan estimasi SPP sebesar 6,92 tahun berdasarkan skenario dan parameter yang digunakan. Hasil tersebut dapat menjadi indikasi awal mengenai prospek implementasi PLTS atap pada gedung Universitas Patompo. Untuk memperoleh penilaian kelayakan investasi yang lebih komprehensif, diperlukan analisis lanjutan menggunakan data konsumsi listrik aktual dan profil beban gedung, serta mempertimbangkan biaya operasi dan pemeliharaan, degradasi modul, perubahan tarif listrik, dan arus kas selama umur proyek.

PENUTUP

Berdasarkan hasil analisis, gedung Universitas Patompo, Makassar, memiliki luas atap total sebesar 672,16 m², dengan luas area efektif sebesar 470,51 m² yang berpotensi dimanfaatkan untuk pemasangan PLTS atap. Berdasarkan hasil optimasi tata letak dan keterbatasan geometris area atap, diperoleh konfigurasi sebanyak 70 modul PV berkapasitas 550 Wp, sehingga kapasitas terpasang sistem mencapai 38,5 kWp. Dengan mempertimbangkan potensi iradiasi matahari dan PR sistem, PLTS yang direncanakan diperkirakan mampu menghasilkan energi listrik sebesar 57.779,72 kWh/tahun atau sekitar 57,78 MWh/tahun.

Dari aspek ekonomi, dengan asumsi biaya investasi sebesar Rp15.000.000/kWp, kebutuhan investasi awal diperkirakan sebesar Rp577.500.000. Berdasarkan tarif listrik substitusi sebesar Rp1.444,70/kWh,

energi yang dihasilkan memiliki estimasi nilai ekonomi sebesar Rp83.491.000/tahun, dengan *simple payback period* (SPP) sebesar 6,92 tahun. Hasil tersebut menunjukkan bahwa sistem PLTS atap 38,5 kWp memiliki potensi kelayakan ekonomi yang cukup menjanjikan berdasarkan parameter teknis, biaya investasi, dan tarif listrik yang digunakan dalam skenario penelitian.

Pendekatan yang mempertimbangkan luas atap efektif, batas geometris aktual, tata letak modul, dan karakteristik iradiasi menghasilkan estimasi kapasitas PLTS yang lebih representatif dibandingkan pendekatan yang hanya didasarkan pada luas atap total. Dengan pendekatan tersebut, kapasitas sistem tidak hanya ditentukan oleh ketersediaan luas permukaan, tetapi juga oleh keterbatasan ruang yang secara nyata dapat digunakan untuk penempatan modul PV.

Namun demikian, hasil penelitian ini masih memiliki keterbatasan karena belum menggunakan data konsumsi listrik dan profil beban aktual gedung Universitas Patompo. Oleh karena itu, estimasi produksi energi dan SPP yang diperoleh perlu dipandang sebagai potensi teknis dan ekonomi berdasarkan skenario, bukan sebagai gambaran kinerja operasional dan pengembalian investasi aktual. Penelitian selanjutnya perlu mengintegrasikan data konsumsi dan profil beban gedung untuk menentukan tingkat *self-consumption*, surplus energi, serta penghematan biaya listrik secara lebih akurat. Selain itu, analisis sensitivitas terhadap perubahan biaya investasi, tarif listrik, *performance ratio*, degradasi modul, dan skema pembiayaan diperlukan untuk memperoleh evaluasi kelayakan investasi yang lebih menyeluruh dan dapat diandalkan.

DAFTAR PUSTAKA

- Dong, C., & Zhong, Q. (2025). Evaluating solar photovoltaic potential of buildings based on the installation parameters of photovoltaic modules. *Solar Energy*, 288. <https://doi.org/10.1016/j.solener.2025.113304>
- Idrovo-Macancela, A., Velecela-Zhindón, M., Barragán-Escandón, A., Zalamea-León, E., & Mejía-Coronel, D. (2025). GIS-based assessment of photovoltaic solar potential on building rooftops in equatorial urban areas. *Heliyon*, 11(1). <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2024.e41425>
- International Energy Agency. (2024). *World Energy Outlook 2024*. www.iea.org/terms
- International Renewable Energy Agency. (2025). *Renewable capacity statistics 2025*. www.irena.org
- Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral Republik Indonesia. (2024). *Peraturan Menteri Energi dan Sumber Daya Mineral Republik Indonesia Nomor 2 Tahun 2024 tentang Pembangkit Listrik Tenaga Surya Atap yang Terhubung pada Jaringan Tenaga Listrik Pemegang Izin Usaha Penyediaan Tenaga Listrik untuk Kepentingan Umum*. <https://jdih.esdm.go.id/dokumen/download?id=Permen+ESDM+Nomor+2+Tahun+2024.pdf>
- Liang, H., Shen, J., Yip, H. L., Fang, M. M., & Dong, L. (2024). Unleashing the green potential: Assessing Hong Kong's building solar PV capacity. *Applied Energy*, 369. <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2024.123567>
- Liu, J., Wu, Q., Lin, Z., Shi, H., Wen, S., Wu, Q., Zhang, J., & Peng, C. (2023). A novel approach for assessing rooftop-and-facade solar photovoltaic potential in rural areas using three-dimensional (3D) building models constructed with GIS. *Energy*, 282. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2023.128920>
- Molnár, G., Cabeza, L. F., Chatterjee, S., & Ürges-Vorsatz, D. (2024). Modelling the building-related photovoltaic power production potential in the light of the EU's Solar Rooftop Initiative. *Applied Energy*, 360. <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2024.122708>
- Perdigones, A., García, J. L., García, I., Baptista, F., & Mazarrón, F. R. (2023). Economic Feasibility of PV Mounting Structures on Industrial Roofs. *Buildings*, 13(11). <https://doi.org/10.3390/buildings13112834>

- Pramadya, F. A., & Kim, K. N. (2024). Promoting residential rooftop solar photovoltaics in Indonesia: Net-metering or installation incentives? *Renewable Energy*, 222. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2023.119901>
- Rumbayan, M., Abudureyimu, A., & Nagasaka, K. (2012). Mapping of solar energy potential in Indonesia using artificial neural network and geographical information system. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 16(3), 1437–1449. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.rser.2011.11.024>
- Sharma, R., Goel, S., & Lenka, S. R. (2023). Pragmatic analysis of solar photovoltaic system design in an institutional building in eastern India. *Frontiers in Energy Research*, 11. <https://doi.org/10.3389/fenrg.2023.943207>
- Triana, D., Garniwa, I., Rosadi, A. H. Y., & Martono, D. N. (2024). Performance Analysis Simulation of Urban Rooftop Photovoltaic Potential in Jakarta City, Indonesia. *Environmental Research, Engineering and Management*, 80(4), 21–38. <https://doi.org/10.5755/j01.erem.80.4.34200>