

Analisis Kelayakan Ekonomi Proyek Hibah PLTS Atap 5 kWp pada Gedung Pesantren di Gunungpati, Semarang

Rizky Adi Nugraha¹, Esa Apriaskar², Pangestuningtyas Diah Larasati³ dan Utama Arif Bramantyo⁴

¹ Cabang Dinas ESDM Wilayah Semarang Demak, Dinas Energi dan Sumber Daya Mineral Provinsi Jawa Tengah, ² Teknik Elektro, Universitas Negeri Semarang ^{3,4} Teknik Elektro, Politeknik Negeri Semarang,

nugraha.adi.rizky@gmail.com

Abstract — As outlined in the National Energy General Plan (RUEN) of Indonesia, Central Java has solar energy potential up to 8,753 MW. Through the Regional Revenue and Expenditure Budget (APBD) of Central Java Province, the Energy and Mineral Resources Office (ESDM) of Central Java Province will build a 5 kWp Rooftop Solar Power System (PLTS) on the building of an Islamic boarding school as part of grant activity. Besides contributing to reducing greenhouse gases, constructing the Rooftop PLTS is expected to reduce electricity bills. The determination of the Rooftop PLTS capacity is solely based on the amount of energy generated and the carbon emissions reduced, without considering its economic value because it is a grant activity. This study will evaluate the feasibility of building the Rooftop PLTS as part of the grant activity by calculating the Net Present Value (NPV), Payback Period (PBP), and Benefit-Cost Ratio (B-CR) using simulated energy production data from two software: Global Solar Atlas (GSA) and PVWatts. The study results indicate that the system can produce 7.30 MWh and 7.13 MWh annually based on GSA and PVWatts, respectively. It is estimated to reduce 141.7 tons and 138.5 tons of CO₂ emissions over a 25-year lifespan. Economically, through electricity bill savings, it is considered a viable investment and can return the investment value within 22.8 years and 24.8 years. Simulations of installing Rooftop PLTS on non-social buildings and using non-TKDN materials effectively accelerate the PBP to 8 years and 8.4 years.

Keyword — PV, economic, renewable energy, TKDN, GSA, PVWatts, carbon emission reduction

ABSTRAK — Tertuang dalam Rencana Umum Energi Nasional (RUEN) bahwa Jawa Tengah memiliki potensi tenaga surya hingga 8.753 MW. Melalui Anggaran Pendapatan dan Belanja Daerah (APBD) Provinsi Jawa Tengah, Dinas Energi dan Sumber Daya Mineral (ESDM) Provinsi Jawa Tengah akan membangun Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) Atap 5 kWp pada Gedung Pondok Pesantren pada kegiatan hibah. Selain berperan serta dalam pengurangan efek rumah kaca diharapkan pembangunan PLTS Atap tersebut dapat mengurangi tagihan listrik. Pada penentuan kapasitas PLTS Atap hanya didasarkan pada besarnya energi yang dibangkitkan dan emisi karbon yang dikurangi tanpa mempertimbangkan nilai keekonomiannya karena merupakan kegiatan hibah. Pada penelitian ini akan dilakukan evaluasi terhadap kelayakan pembangunan PLTS Atap pada kegiatan hibah dengan mengitung nilai *Net Present Value* (NPV), *Payback Period* (PBP) dan *Benefit-Cost Ratio* (B-CR) menggunakan data produksi energi simulasi dari dua aplikasi yaitu Global Solar Atlas (GSA) dan PVWatts. Hasil penelitian menunjukkan bahwa sistem mampu memproduksi 7,30 MWh/tahun (*base on* GSA) dan 7,13 MWh/tahun (*base on* PVWatts). Diperkirakan mampu mengurangi 141,7 ton dan 138,5 ton CO₂ emisi CO₂ selama usia pakai 25 tahun. Secara keekonomian melalui penghematan biaya tagihan listrik dinyatakan layak secara investasi dan mampu mengembalikan nilai investasi dalam kurun waktu 22,2 tahun dan 24,2 tahun. Simulasi

pemasangan PLTS Atap pada bangunan non sosial dan penggunaan material non TKDN efektif mampu mempercepat PBP menjadi 8 tahun dan 8,4 tahun.

Kata Kunci — PLTS, ekonomi, investasi, TKDN, GSA, PVWatts, penurunan emisi karbon

I. PENDAHULUAN

Pengembangan Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) di Provinsi Jawa Tengah tidak hanya terbatas pada aspek teknis, melainkan juga harus memperhatikan keterkaitannya dengan berbagai regulasi dan rencana pengembangan energi yang telah ditetapkan oleh pemerintah. Rencana Umum Energi Nasional (RUEN), sebagai panduan strategis untuk pembangunan sektor energi secara nasional, memberikan arahan yang penting dalam menentukan prioritas dan kebijakan terkait energi terbarukan [1]. Di sisi lain, Rencana Umum Energi Daerah (RUED) berfokus pada potensi energi terbarukan di tingkat daerah, termasuk di Provinsi Jawa Tengah, dan menetapkan target yang harus dicapai [2]. Sementara itu, Rencana Strategis (Renstra) berperan sebagai pedoman perencanaan jangka menengah yang mencakup visi, misi, dan strategi pengembangan sektor energi, yang harus dipertimbangkan dalam implementasi PLTS untuk memastikan kesesuaian dengan agenda pembangunan daerah [3]. Oleh karena itu, dalam perancangan PLTS di Provinsi Jawa Tengah, penting untuk memperhatikan dan mengintegrasikan berbagai regulasi dan rencana pengembangan energi tersebut agar mencapai keselarasan dengan upaya pembangunan energi terbarukan secara nasional maupun daerah, serta tujuan pembangunan yang berkelanjutan dan berdaya saing tinggi. Sejalan dengan hal tersebut telah diterbitkan peraturan daerah yang menghimbau untuk pemanfaatan 30% atap sebagai media pemanfaatan PLTS Atap [2], [4]. Tertuang dalam RUEN bahwa Provinsi Jawa Tengah memiliki potensi tenaga surya hingga 8.753 MW. Hingga akhir tahun 2023 tercatat telah dibangun PLTS Atap di Provinsi Jawa Tengah dengan total kapasitas $\pm$ 31 MW dan 571,58 kWp diantaranya terpasang di atap gedung pemerintahan, Usaha Mikro, Kecil dan Menengah (UMKM), Sekolah dan pondok pesantren telah dibangun oleh Dinas Energi dan Sumber Daya Mineral Provinsi Jawa Tengah melalui anggaran daerah. Selanjutnya melalui Anggaran Pendapatan dan Belanja Daerah (APBD) Tahun 2024 akan dibangun PLTS Atap pada Pondok Pesanter yang berlokasi di Gunungpati, Kota Semarang dengan kapasitas 5 kWp. PLTS Atap yang akan dipasang masuk kategori On grid terinterkoneksi dengan jaringan jala jala.

TABEL I
KAJIAN PENELITIAN TERDAHULU DENGAN TEMA ANALISIS KELAYAKAN PEMBANGUNAN PLTS DI INDONESIA

Objek	Kapasitas (kWp)	Diskonto (%)	LCC (Rupiah)	PBP (Tahun)	NPV (Rupiah)	BCR	Sumber
Rumah Tinggal	3,6 (Selatan)	5,75	82.789.545	9,1	11.181.901	-	[5]
	3,6 (utara)		81.936.825	9,9	12.034.620		
Kantor	8	-	144.504.000	7,8	136.728.586	2,19	[6]
RSUD	63	11	1.293.551.114	24,7	1.761.529		[7]
Gedung Walikota	112,5	6	719.207.000 (awal)	3,4	2.068.414.547	14,57	[8]
		10	7.192.070 (pemeliharaan /tahun)		1.301.596.596		
		15	90.527.000 (ganti inverter /10 tahun)		749.798.232		
Gedung Kuliah	124,8	-	1.586.269.500 (awal)	Lebih dari 25	- 350.054.527	0,78	[9]
Rumah tinggal	10 (dengan baterai)	6	375.000.000 (awal)	78	- 304.800.398	0,78	[10]
		10	3.750.000 (pemeliharaan/tahun)		- 321.004.050		
		15	30.000.000 (ganti inverter/10 tahun)		- 333.235.515		
Stadion Bola	83,3 (skenario 1)	5,19	1.178.760.000 (awal)	29,5	- 88.124.916	-	[11]
	156,8 (skenario 2)		3.750.000 (pemeliharaan/tahun)				
Pabrik Farmasi	463,25	5,46	2.378.600.000 (awal)	12,3	888.901.273		
			3.750.000 (pemeliharaan/tahun)				
Pabrik Farmasi	463,25	5,46	4.979.660.054	9,02	1.667.547.808	2,28	[12]
Rumah Tinggal	3,06	3,5	68.034.987	12	48 067 370	2	[13]
Budidaya Pakan ikan	18 (<i>stand alone</i>)	10	1.453.042.529	25,08	- 101.477	0,9	[14]
Ternak Ayam	8 (dengan baterai)	3,5	224.165.000 (awal)	24,06	- 39.680.602	0,61	[15]
			2.026.400 (pemeliharaan/tahun)				
			316.000.000 (ganti inverter, batre/10 tahun)				
Kantor	32	3,5	1.004.520.000 (awal)	16,9	210.436.003	1,17	[16]
			3.500.000 (pemeliharaan/tahun)				
			47.730.000 (ganti inverter, HMI/10 tahun)				

Studi kelayakan terhadap investasi pembangunan sistem PLTS telah banyak dilakukan di Indonesia dan ditampilkan pada TABEL I. Berdasarkan penelitian yang sudah dilakukan diketahui bahwa kelayakan investasi dipengaruhi dengan besarnya produksi yang dihasilkan PLTS. Penentuan jumlah produksi energi dapat diperoleh melalui kalkulasi persamaan maupun penggunaan perangkat lunak. Sistem PLTS dikatakan layak apabila nilai NPV, PBP dan B-CR memenuhi aspek yang ditentukan. Rata-rata perhitungan kelayakan didasarkan pada umur proyek selama 25 tahun mengacu pada umur modul surya. Semakin kecil nilai diskonto maka semakin besar nilai NPV yang diperoleh. Nilai PBP yang lebih dari 25 tahun dianggap tidak layak investasi, meskipun demikian ditemukan beberapa penelitian yang dikatakan layak namun memiliki nilai PBP cukup tinggi. Hal tersebut dikarenakan adanya penambahan baterai dan sistem HMI (*Human Machine Interface*) yang terintegrasi sehingga biaya investasi awal tinggi. Sistem *stand alone* juga memiliki PBP yang tinggi. Selain biaya investasi awal, biaya perawatan dan biaya penggantian komponen dengan masa garansi lebih kecil dari modul surya (inverter) menjadi biaya investasi yang

dikeluarkan selama masa proyek. Jumlah nilai tarif listrik per kWh yang digunakan dalam analisis menjadi parameter utama dimana semakin tinggi tarif listriknya, semakin besar pemasukan yang diterima sehingga PBP semakin cepat dan nilai NPV semakin tinggi.

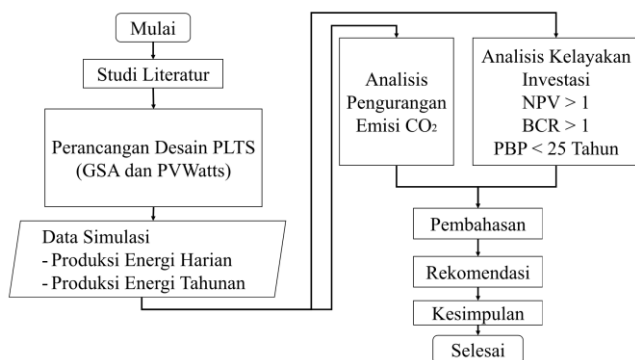
Saat ini tujuan utama dalam pembangunan PLTS Atap melalui anggaran daerah adalah turut serta berperan dalam pengurangan gas rumah kaca. Dengan mengalikan total produksi energi dengan faktor emisi maka pengurangan emisi CO₂ dapat dihitung. Belum ada studi kelayakan investasi terhadap sistem PLTS yang akan dibangun. Pada penelitian ini akan digunakan dua aplikasi simulasi untuk mengetahui potensi energi yang dapat dihasilkan dari pembangunan PLTS Atap. Dengan menggunakan kedua aplikasi, peneliti dapat memvalidasi hasil serta melakukan perbandingan antara keduanya untuk mendapatkan pemahaman yang lebih baik tentang performa PLTS dan memastikan konsistensi hasil. Selanjutnya keluaran simulasi akan dipakai sebagai data analisis kelayakan ekonomi terhadap proyek pembangunan dengan mencari nilai NPV, BCR dan PBP.

Hasil dari penelitian dapat digunakan sebagai bahan evaluasi kelayakan pembangunan PLTS Atap pada proyek hibah selanjutnya serta media pembelajaran kepada masyarakat umum yang berkeinginan melakukan pemasangan PLTS Atap secara mandiri.

II. METODE PENELITIAN

A. Alur Penelitian

Pada penelitian ini alur penelitian dapat dilihat pada Gambar 1. Studi literatur berfokus pada metodologi perancangan sistem PLTS menggunakan aplikasi berbasis web, analisis terhadap pengurangan emisi CO₂ akibat pemasangan PLTS dan studi kelayakan dalam investasi pemasangan PLTS. Terdapat dua aplikasi yang digunakan dalam perancangan PLTS dengan tujuan memperoleh perbandingan data hasil uji. Data yang diperlukan diantaranya data primer (kemiringan atap) dan data sekunder (koordinat lokasi). Selanjutnya data hasil simulasi berupa produksi energi digunakan untuk analisis pengurangan emisi CO₂ dan analisis kelayakan investasi. Pada analisis pengurangan emisi CO₂ dilakukan untuk mengetahui seberapa besar pengaruh pemasangan PLTS terhadap pengurangan gas rumah kaca yaitu gas CO₂. Faktor emisi adalah faktor pengali untuk menentukan pengurangan emisi. Sedangkan pada analisis kelayakan investasi dilakukan perhitungan nilai NPV, BCR dan PBP sebagai parameter penentu kelayakan investasi dalam pembangunan PLTS. Data yang diperlukan diantaranya biaya investasi awal, nilai diskonto dan nilai inflasi. Pada akhir pembahasan akan ditemukan parameter berpengaruh terhadap kelayakan investasi yang selanjutnya dipakai sebagai rekomendasi untuk menurunkan PBP.



Gambar 1. Flow Chart Penelitian

B. Dinas Energi dan Sumber Daya Mineral (ESDM) Provinsi Jawa Tengah

Dinas ESDM Provinsi Jawa Tengah adalah unsur pelaksana otonom daerah dibawah Gubernur Jawa Tengah dibidang energi dan sumber daya mineral. Dalam pelaksanaan tugas pokoknya maka Dinas ESDM Provinsi Jawa Tengah dapat menyelenggarakan fungsinya sebagai perumus kebijakan, pelaksana kebijakan serta evaluasi dan pelaporan kebijakan salah satunya di bidang energi baru terbarukan.

Pembangunan PLTS Atap melalui kegiatan hibah menjadi salah satu langkah pelaksanaan kebijakan dalam mengejar pembangunan energi baru terbarukan di Provinsi Jawa Tengah. Selanjutnya analisis kelayakan keekonomian dilakukan sebagai langkah evaluasi dengan tujuan memberikan pembelajaran pada masyarakat bahwa dalam pemasangan PLTS Atap tidak hanya mempertimbangkan besarnya energi yang dapat dibangkitkan serta emisi gas karbon yang dapat dikurangi namun juga kelayakan investasi dalam pemasangan.

C. Objek Penelitian

Objek pada penelitian ini berlokasi di Pondok Pesantren Hufadzul Quran yang terletak di Kecamatan Gunungpati Kota Semarang dengan koordinat -7.0632273706777635, 110.398366531404. Bangunan pondok terbagi menjadi tiga bagian gedung dengan masing – masing metering Listrik. PLTS akan dipasang pada sisi bagian depan dengan ketersediaan atap $\pm 150 \text{ m}^2$. PLTS yang akan dipasang adalah tipe *On Grid* dengan tujuan mengurangi pemakaian energi yang disuplai oleh PLN. Adapun peralatan elektronik yang terdapat pada sisi gedung tersebut diantaranya pompa *submersible*, *rice cooker*, pendingin ruangan, lemari pendingin dan lampu penerangan. Golongan tarif daya untuk pondok pesantren masuk kedalam golongan tarif daya sosial (S-2/TR) dengan biaya tagihan Rp. 900 / kWh [17].



Gambar 2. Desain Pemasangan PLTS 5 kWp

D. Global Solar Atlas (GSA)

GSA adalah sebuah basis data radiasi matahari yang telah dikembangkan dari citra satelit dengan dukungan pendanaan dari Grup Bank Dunia melalui Program Bantuan Manajemen Sektor Energi (Energy Sector Management Assistance Programme/ESMAP) [18]. GSA merupakan sebuah kumpulan data dan peta GIS global, regional, dan negara yang membantu dalam menghitung produksi energi surya. Platform SolarGIS menyediakan layanan evaluasi energi surya, termasuk informasi seperti radiasi matahari, suhu, dan potensi PLTS untuk lokasi di seluruh dunia. Dengan menggunakan lapisan data yang telah dihitung sebelumnya dari pemodelan radiasi matahari dan suhu udara, pengguna

dapat memperoleh informasi yang spesifik untuk lokasi tertentu dari peta. Selain itu, pengguna dapat memasukkan rincian tentang jenis dan konfigurasi sistem PLTS yang diinginkan untuk menghitung simulasi daya yang dibangkitkan menggunakan algoritma dan basis data internal SolarGIS [19].

E. PVWatts

PVWatts adalah aplikasi simulasi berbasis Web yang didasarkan pada alat simulasi *daring* untuk memodelkan dan memprediksi operasi dari segala jenis sistem PLTS yang terhubung ke grid. Dengan mempertimbangkan parameter dasar desain PLTS, PVWatts mengevaluasi produksi listrik sistem PLTS secara bulanan dengan melakukan simulasi jam demi jam selama satu tahun, serta menilai nilai moneter listrik berdasarkan tarif listrik eceran rata-rata tahunan. Penggunaan PVWatts sangat berguna dalam menilai kinerja sistem PV yang menggunakan modul PV silikon kristalin atau film tipis. PVWatts menggunakan database tahunan meteorologi tipikal (TMY) secara jam demi jam dari NSRDB, stasiun cuaca internasional NREL terdekat, penilaian sumber daya energi surya dan angin (SWERA), ASHRAE IWECC Verse 1.1, serta data cuaca Kanada [20].

F. Parameter Analisis

Produksi Energi adalah total energi yang dihasilkan oleh PLTS dalam skala harian, bulanan dan tahunan. Jumlah energi dipengaruhi dengan nilai irradiansi objek PLTS dibangun serta efisiensi dari komponen PLTS (modul surya dan inverter).

LCC (Life Cycle Cost) adalah total biaya dari investasi awal, biaya pemeliharaan, dan biaya penggantian selama masa pakai sistem PLTS yaitu 25 tahun. LCC mempertimbangkan semua biaya selama masa pakai sistem dan membantu dalam mengevaluasi total biaya pemilikan.

PBP (Payback Period) adalah waktu yang diperlukan bagi investasi awal sistem PLTS untuk dikembalikan melalui penghematan biaya energi yang dihasilkan oleh sistem. Semakin pendek periode pengembalian, semakin cepat investasi awal akan dikembalikan.

NPV (Net Present Value) adalah selisih antara nilai sekarang dari arus kas masuk (penghematan biaya energi atau pendapatan dari penjualan energi) dan nilai sekarang dari arus kas keluar (biaya investasi dan biaya operasional). Investasi dikatakan berhasil jika dalam masa 25 tahun mampu menghasilkan nilai NPV positif.

Pengurangan Emisi CO₂ adalah upaya mengurangi jumlah karbon dioksida yang dilepaskan ke atmosfer dengan memanfaatkan energi matahari untuk menghasilkan listrik tanpa menghasilkan emisi CO₂ selama operasi normalnya, menyediakan alternatif bersih dan ramah lingkungan dalam

memenuhi kebutuhan energi melalui pemasangan sistem PLTS.

Arus Kas Masuk (Cash Inflows) adalah semua pendapatan yang diperoleh dari PLTS selama masa proyek 25 tahun.

Arus Kas Keluar (Cash Outflows) adalah semua biaya yang terkait dengan PLTS, termasuk biaya investasi awal, biaya operasional, biaya pemeliharaan, biaya penggantian, dan biaya lainnya yang terkait dengan pengoperasian dan pemeliharaan sistem.

Arus Kas Investasi (Investment Cash Flows) adalah semua arus kas yang terjadi pada awal investasi, termasuk biaya pembelian dan instalasi sistem PLTS serta semua biaya awal terkait dengan investasi.

PWB (Present Worth Benefit) adalah nilai sekarang dari manfaat ekonomi dari PLTS, seperti penghematan biaya energi atau pendapatan dari penjualan energi, selama masa pakai sistem.

PWC (Present Worth Cost) adalah nilai sekarang dari semua biaya terkait dengan PLTS, termasuk biaya investasi awal, biaya operasional, biaya pemeliharaan, dan biaya lainnya selama masa pakai sistem.

Diskonto merupakan tingkat diskonto yang digunakan untuk menghitung nilai sekarang dari arus kas masa depan. Tingkat diskonto biasanya mencerminkan tingkat pengembalian yang diharapkan atau biaya modal dari investasi. Semakin tinggi tingkat diskonto, semakin rendah nilai sekarang dari arus kas masa depan.

Inflasi merupakan kenaikan umum dalam harga barang dan jasa dalam suatu ekonomi. Dalam analisis ekonomi, inflasi perlu dipertimbangkan karena dapat mempengaruhi biaya investasi awal, biaya operasional, dan nilai sekarang dari arus kas masa depan.

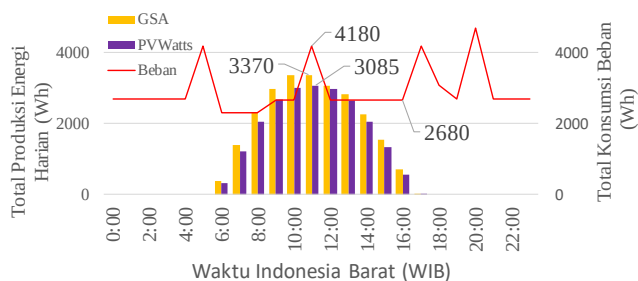
BCR (Benefit-Cost Ratio) adalah metrik yang digunakan dalam analisis keekonomian untuk mengevaluasi kelayakan suatu proyek atau investasi dengan membandingkan total manfaat dengan total biaya. Perhitungan BCR dilakukan dengan membagi total nilai manfaat dari proyek dengan total biaya proyek tersebut. Nilai BCR yang lebih besar dari 1 menunjukkan bahwa manfaat dari proyek tersebut melebihi biaya yang dikeluarkan, yang mengindikasikan bahwa proyek tersebut mungkin layak secara ekonomi.

III. HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Produksi Energi

Hasil simulasi produksi energi sistem PLTS per hari dapat dilihat pada Gambar 3. Waktu optimal operasi kerja pada Pukul 6:00 – 17:00. Kedua aplikasi menunjukkan bahwa

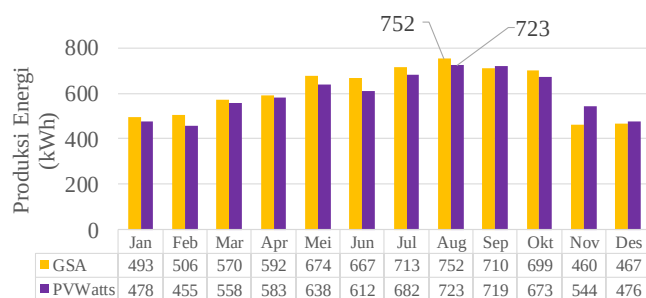
puncak energi terjadi pada Pukul 11:00. Berdasarkan simulasi GSA mampu menghasilkan energi hingga 3,37 kWh dan PVWatts hingga 3,08 kWh. Dan produksi energi per hari diperoleh hasil simulasi GSA 24,24 kWh/hari dan simulasi PVWatts 22,00 kWh/hari.



Gambar 3. Perbandingan Hasil Simulasi Produksi Harian

Data tersebut adalah sampling rata-rata produksi energi harian pada bulan Agustus dimana energi bulanan yang dihasilkan paling tinggi. Garis merah pada Gambar 1 mengacu pada rata-rata penggunaan beban harian. Dengan membandingkan antara beban dengan energi yang diproduksi PLTS maka dapat diketahui periode waktu dimana terdapat sisa energi PLTS yang mengalir menuju jala – jala. Tampak hasil simulai GSA terdapat sisa energi pada pukul 09:00, pukul 10:00 dan pukul 12:00. Sedangkan hasil simulasi PVWatts pada pukul 12:00. Pada perencanaan sisem PLTS perlu mempertimbangkan besarnya konsumsi energi objek sehingga sisa energi yang dihasilkan tidak terlalu besar [21]. Karena berdasarkan peraturan terbaru PLN tidak lagi memperhitungkan kelebihan energi sebagai pengurangan tagihan [22]. Maka energi PLTS harus secara maksimal diserap oleh sistem pembebanan Pondok Pesantren. Pada penelitian ini diasumsikan bahwa telah dilakukan manajemen pembebanan sehingga sistem mampu menyerap energi PLTS secara maksimal.

Hasil simulasi produksi energi sistem PLTS per tahun dapat dilihat pada Gambar 4. Produksi energi paling tinggi terjadi dibulan Agustus dimana pada waktu tersebut memasuki musim kemarau. Aplikasi GSA menghasilkan simulasi produksi energi sebesar 752 kWh pada bulan Agustus dengan total produksi energi 7,30 MWh/tahun. Pada aplikasi PVWatts menunjukkan hasil produksi energi sebesar 723 kWh dengan total hingga 7,13 MWh/tahun.



Gambar 4. Perbandingan Hasil Simulasi Produksi Tahunan

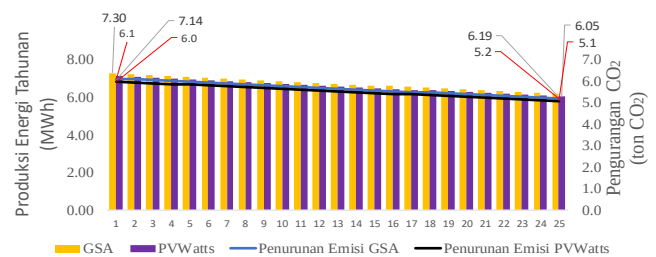
B. Pengurangan Emisi CO₂

Salah satu manfaat lain dari pembangunan sistem PLTS adalah berperan aktif dalam pengurangan emisi CO₂ yang menjadi faktor penyebab efek rumah kaca.

$$\text{Emisi CO}_2 = \text{Produksi Energi Tahunan} \times \text{Faktor Emisi} \quad (1)$$

Estimasi pengurangan Emisi CO₂ dapat dihitung melalui Persaan 1 yaitu dengan pengalikan jumlah Produksi Energi Tahunan sistem PLTS (MWh) dengan Faktor Emisi (ton CO₂/MWh) yang dibangkitkan oleh pembangkit yang digantikan. Sumber energi PLN yang digantikan tersebut memiliki Faktor Emisi sebesar 0,84 ton CO₂/MWh.

Berdasarkan hasil simulasi GSA pada tahun pertama Sistem PLTS menghasilkan energi sebesar 7,3 MWh dan mampu mengurangi emisi CO₂ hingga 6,1 ton CO₂. Setelah 25 tahun diperkirakan masih mampu mengurangi hingga 5,1 ton CO₂. Sedangkan hasil simulasi PVWatts menghasilkan nilai yang mendekati yaitu pengurangan emisi pada tahun pertama 6 ton CO₂ dan setelah 25 tahun menurun menjadi 5,1 ton CO₂. Dan total emisi CO₂ yang dapat dikurangi selama usia pakai 25 tahun berdasarkan simulasi GSA dan PVWatts adalah 141,7 ton dan 138,5 ton CO₂.



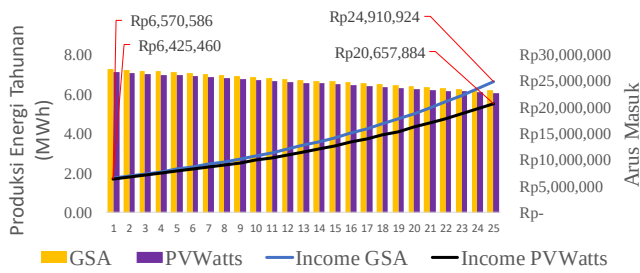
Gambar 5. Pengaruh Produksi Energi Tahunan Terhadap Penurunan Emisi

C. Arus Kas Masuk

Arus kas masuk diperoleh dari besarnya penghematan energi yang dihasilkan oleh sistem PLTS dikalikan dengan harga energi per kWh listrik Pondok Pesantren yaitu sebesar Rp. 900 per kWh. Untuk perhitungan masa proyek selama 25 tahun maka perlu diperhatikan penurunan performa modul surya per tahun dan nilai inflasi terhadap harga per kWh listrik. Mengacu pada data sheet terjadi penurunan performa modul surya hingga 84,8% dalam pemakaian selama 25 tahun [23]. Nilai inflasi yang digunakan pada peneitian ini sebesar 5,71%.

Gambat 6 menunjukkan bahwa terjadinya penurunan produksi energi tahunan PLTS berbanding terbalik dengan arus kas masuk yang justru meningkat. Hal tersebut dapat terjadi karena nilai persentase inflasi yang terjadi lebih besar dari penurunan performa dari modul surya. Hasil simulasi GSA menunjukkan pada tahun pertama diperoleh penghematan sebesar Rp6.570.586 dan setelah 25 tahun nilai tersebut berubah menjadi Rp24.910.924 harena inflasi.

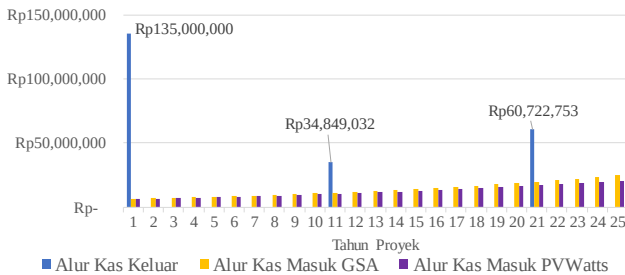
Sedangkan hasil simulasi PVWatts sebesar Rp6.425.460 dan setelah 25 tahun menjadi Rp20.657.884.



Gambar 6. Perbandingan Antara Produksi Energi Tahunan dengan Arus Kas Masuk

D. Arus Kas Keluar

Arus kas keluar diperoleh dari total biaya investasi awal yang dikeluarkan, biaya perawatan dan biaya penggantian material. Rincian biaya biaya tersebut ditampilkan pada Gambar 7 dengan perbandingan terhadap arus kas masuk. Total biaya investasi awal seluruh pengadaan material dan jasa yang diperlukan dalam pembangunan sistem PLTS adalah Rp. 135.000.000. Untuk biaya perawatan diasumsikan tidak berbiaya karena dilakukan secara mandiri oleh pengurus pondok pesantren. Perawatan yang dimaksud hanya berupa pembersihan modul surya secara berkala. Sedangkan biaya penggantian material mengacu pada garansi produk yang diberikan oleh inverter PLTS. PLTS yang digunakan memiliki masa garansi hingga 10 tahun [24], sehingga diasumsikan akan dilakukan penggantian inverter pada tahun ke 11 dan 21.



Gambar 7. Perbandingan Arus Kas Keluar dan Arus Kas Masuk

Dengan memperhitungkan nilai inflasi maka dengan harga inverter saat ini senilai Rp20.000.000 diperoleh harga inverter setelah mengalami inflasi 5,71% pertahun adalah Rp34.849.032 pada tahun ke 11 dan Rp60.772.753 pada tahun ke 21. Maka total arus kas keluar pada proyek selama 25 tahun sebesar Rp230.571.785.

E. Arus Kas Investasi

Besarnya nilai PWB diperoleh dari arus kas masuk dikalikan dengan faktor diskonto. Sedangkan PWC adalah arus kas keluar dikalikan dengan faktor diskonto. Untuk faktor diskonto diperoleh melalui Persamaan 2

$$DF = \frac{1}{(1+i)^n} \quad (2)$$

Parameter n mengacu pada tahun proyek berjalan dan i nilai diskonto sebesar 3,5%. Dengan demikian nilai PWB_{GSA} , $PWB_{PVWatts}$ dan PWC pada tahun pertama sebagai berikut

$$PWB_{GSA \text{ thn } 1} = DF_{\text{thn } 1} \times \text{Arus Kas Masuk}_{\text{thn } 1} \quad (3)$$

$$PWB_{GSA \text{ thn } 1} = 0,996 \times \text{Rp. } 6.570.586$$

$$PWB_{GSA \text{ thn } 1} = \text{Rp}6.348.392$$

$$PWB_{PVWatts \text{ thn } 1} = DF_{\text{thn } 1} \times \text{Arus Kas Masuk}_{\text{thn } 1} \quad (4)$$

$$PWB_{PVWatts \text{ thn } 1} = 0,996 \times \text{Rp. } 6.425.460$$

$$PWB_{PVWatts \text{ thn } 1} = \text{Rp } 6.208.174$$

$$PWC_{\text{thn } 1} = DF_{\text{thn } 1} \times \text{Arus Kas Keluar}_{\text{thn } 1} \quad (5)$$

$$PWC_{\text{thn } 1} = 0,996 \times \text{Rp. } 135.000.000$$

$$PWC_{\text{thn } 1} = \text{Rp } 130.434.783$$

TABEL II
ALUR KAS INVESTASI SELAMA MASA PROYEK

Tahun	PWB		PWC
	GSA	PVWatts	
1	Rp 6.348.392	Rp 6.208.174	Rp 130.434.783
2	Rp 6.483.947	Rp 6.300.577	Rp -
3	Rp 6.622.397	Rp 6.394.096	Rp -
4	Rp 6.763.802	Rp 6.488.735	Rp -
5	Rp 6.908.228	Rp 6.584.501	Rp -
6	Rp 7.055.737	Rp 6.681.398	Rp -
7	Rp 7.206.395	Rp 6.779.432	Rp -
8	Rp 7.360.271	Rp 6.878.605	Rp -
9	Rp 7.517.432	Rp 6.978.923	Rp -
10	Rp 7.677.950	Rp 7.080.388	Rp -
11	Rp 7.841.894	Rp 7.183.005	Rp 23.869.695
12	Rp 8.009.339	Rp 7.286.776	Rp -
13	Rp 8.180.360	Rp 7.391.703	Rp -
14	Rp 8.355.033	Rp 7.497.789	Rp -
15	Rp 8.533.435	Rp 7.605.036	Rp -
16	Rp 8.715.646	Rp 7.713.443	Rp -
17	Rp 8.901.748	Rp 7.823.013	Rp -
18	Rp 9.091.824	Rp 7.933.746	Rp -
19	Rp 9.285.959	Rp 8.045.640	Rp -
20	Rp 9.484.239	Rp 8.158.696	Rp -
21	Rp 9.686.753	Rp 8.272.911	Rp 29.485.202
22	Rp 9.893.591	Rp 8.388.285	Rp -
23	Rp 10.104.845	Rp 8.504.813	Rp -
24	Rp 10.320.610	Rp 8.622.493	Rp -
25	Rp 10.540.983	Rp 8.741.321	Rp -
Total	Rp 206.890.810	Rp 185.543.500	Rp 183.789.680

Hasil perhitungan selama periode proyek 25 tahun dapat dilihat pada TABEL II. Kolom PWB mengacu pada nilai sekarang atas seluruh pemasukan yang diterima dari PLTS baik dari simulasi GSA maupun PVWatts. Secara akumulasi diperoleh nilai PWB_{GSA} sebesar Rp206.890.810, $PWB_{PVWatts}$ sebesar Rp185.543.500. Sedangkan pada kolom PWC mengacu pada nilai sekarang dari seluruh pengeluaran yang dikeluarkan dalam masa proyek sistem

PLTS. PWC terdiri dari nilai sekarang atas biaya investasi awal serta penggantian inverter pada tahun ke 11 dan ke 21 saja. Sedangkan biaya selain pada kurun waktu tersebut berupa biaya *maintenance* dianggap nol karena proses perawatan dan pembersihan modul surya pada penelitian ini sepenuhnya diserahkan kepada penerima bantuan sehingga tidak berbiaya dan secara akumulasi diperoleh nilai PWC pada masa akhir proyek sebesar Rp183.789.680

F. NPV

Setelah mengetahui nilai total PWB dan PWC maka besarnya nilai NPV berdasarkan masing – masing aplikasi simulasi dapat dihitung melalui pengurangan nilai Total PWB dengan nilai Total PWC.

$$NPV_{GSA} = Total PWB_{GSA} - Total PWC \quad (6)$$

$$NPV_{GSA} = Rp206.890.810 - Rp183.789.680$$

$$NPV_{GSA} = Rp23.101.130$$

$$NPV_{PVWatts} = Total PWB_{PVWatts} - Total PWC \quad (7)$$

$$NPV_{PVWatts} = Rp185.543.500 - Rp183.789.680$$

$$NPV_{PVWatts} = Rp1.753.820$$

Melalui Persamaan 6 dan 7 diperoleh NPV dari simulasi aplikasi GSA dan PVWatts bernilai positif yaitu sebesar Rp23.101.130 dan Rp1.753.820. Hal tersebut berarti bahwa berdasarkan simulasi aplikasi GSA PLTS mampu menghasilkan keuntungan bersih sebesar Rp23.101.130 setelah 25 tahun sedangkan simulasi aplikasi PVWatts hanya Rp1.753.820. Namun demikian selain nilai secara ekonomis juga perlu dipertimbangkan bahwa pemenuhan energi hijau dan pengurangan emisi melalui pembangunan PLTS telah dilakukan.

G. BCR

Untuk besarnya nilai BCR berdasarkan masing – masing aplikasi simulasi dapat dihitung melalui pembagian nilai PWB dengan nilai PWC.

$$BCR_{GSA} = \frac{PWB_{GSA}}{PWC} \quad (8)$$

$$BCR_{GSA} = \frac{Rp206.890.810}{Rp183.789.680}$$

$$BCR_{GSA} = 1,125$$

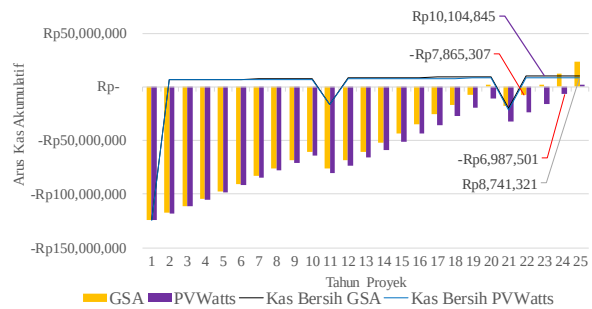
$$BCR_{PVWatts} = \frac{PWB_{PVWatts}}{PWC} \quad (9)$$

$$BCR_{PVWatts} = \frac{Rp206.890.810}{Rp183.789.680}$$

$$BCR_{PVWatts} = 1,009$$

Melalui Persamaan 8 dan 9 diperoleh BCR dari simulasi aplikasi GSA dan PVWatts bernilai positif yaitu sebesar 1,125 dan 1,009. Nilai BCR bernilai positif menunjukkan bahwa seluruh biaya yang telah dikeluarkan selama masa proyek lebih kecil dari pada seluruh pendapatan ekonomi yang diperoleh selama masa proyek.

H. PBP



Gambar 8. Perbandingan Hasil Simulasi Produksi Tahunan

Pada Gambar 8 dapat dilihat perbandingan antara Arus Kas Akumulatif dengan Arus Kas Bersih dalam periode waktu proyek 25 tahun. Arus Kas Akumulatif merupakan penjumlahan Arus Kas Bersih tahun berjalan dengan Arus Kas Bersih tahun sebelumnya (n-1). Pada masing – masing Arus Kas tersebut terdapat dua hasil simulasi GSA dan PVWatts sebagai perbandingan. Pada tahun 1 Arus Kas Bersih = Arus Kas Akumulatif yaitu bernilai – Rp124.086.390 (simulasi GSA) dan – Rp124.226.609 yang diperoleh dalam perhitungan Arus Kas Investasi dari pengurangan PWB dan PWC. Tampak terjadi pengembalian Arus Investasi ditandai dengan semakin mendekatinya Arus Kas Akumulatif menuju titik Rp. 0. Namun terjadi penurunan pada tahun ke 11 dan tahun ke 21 yang disebabkan adanya penambahan biaya investasi penggantian inverter pada tahun ke 10 dan ke 20. Meskipun demikian Arus Kas Komulatif berhasil melewati titik Rp. 0 yaitu pada simulasi GSA antara tahun ke 22 – 23 dan simulasi PVWatts tahun ke 24 – 25. Waktu tersebut adalah waktu yang dibutuhkan untuk mengembalikan biaya investasi awal / PBP pembangunan PLTS. Kemudian melalui Persamaan 10 dan Persamaan 11 maka nilai PBP masing – masing simulasi dapat diperoleh dengan hasil berikut ini

$$PBP_{GSA} = n + \frac{Arus Kas Komulatif Tahun GSA (n)}{Arus Kas Bersih Tahun GSA (n+1)} \quad (10)$$

$$PBP_{GSA} = 22 + \frac{-Rp7.865.307}{Rp10.104.845}$$

$$PBP_{GSA} = 22,8 Tahun$$

$$PBP_{PVWatts} = n + \frac{Arus Kas Komulatif Tahun PVWatts (n)}{Arus Kas Bersih Tahun PVWatts (n+1)} \quad (11)$$

$$PBP_{PVWatts} = 24 + \frac{-Rp6.987.501}{Rp8.741.321}$$

$$PBP_{PVWatts} = 24,8 Tahun$$

Berdasarkan hasil perhitungan yang telah dilakukan maka berdasarkan simulasi aplikasi GSA dan PVWatts waktu yang diperlukan untuk mengembalikan investasi adalah 22,8 tahun dan 24,8 tahun.

I. Evaluasi Kelayakan Investasi

TABEL III
HASIL EVALUASI KELAYAKAN INVESTASI

No	Metode	Kriteria	Hasil	Status
1	NPV	Layak Jika $NPV > 1$	$NPV_{GSA} =$ Rp23.101.130	Layak
		Tidak Layak Jika $NPV < 1$	$NPV_{PVWatts} =$ Rp1.753.820	
2	BCR	$BCR > 1$	$BCR_{GSA} = 1.125$ $BCR_{PVWatts} = 1.009$	Layak
3	PBP	$PBP < 25$ Tahun	$PBP_{GSA} = 22.8$ tahun $PBP_{PVWatts} = 24.8$ tahun	Layak

Hasil evaluasi kelayakan ekonomi proyek hibah PLTS yang sedang dikerjakan dapat dilihat pada TABEL III. Berdasarkan batasan masing – masing kriteria dengan nilai NPV dan BDR bernilai lebih dari 1 serta PBP kurang dari 25 tahun maka proyek tersebut layak dilakukan secara ekonomi. Namun demikian waktu pengembalian / PBP selama 22.2 tahun dan 24.8 tahun masih dapat dipercepat diantaranya dengan memasang PLTS pada bangunan dengan biaya tarif tagihan listrik lebih tinggi dan menekan biaya investasi awal. Waktu PBP pada proyek ini relative lambat karena dipasang pada bangunan sosial dengan tarif listrik Rp900.

Sedangkan biaya investasi awal pada proyek ini relative lebih tinggi dibandingkan PLTS Atap yang telah dibangun disebabkan pada proyek pemerintah ada kewajiban penggunaan material dengan nilai Tingkat Komponen Dalam Negeri (TKDN) minimal 40%. Bila mengacu pada penelitian sebelumnya diperoleh data bahwa biaya investasi awal untuk PLTS Atap dengan kapasitas kecil mendekati 5 kWp (marking hijau) adalah Rp21.513.495 / kWp atau total Rp107.567.476 untuk 5 kWp. Perolehan harga tersebut didasari pada penelitian sebelumnya sebagaimana ditampilkan pada Tabel 4. PLTS Atap tipe *off grid* tidak dimasukkan dalam perhitungan karena biaya batre dapat berbeda berdasarkan kapasitas *back up* sistemnya.

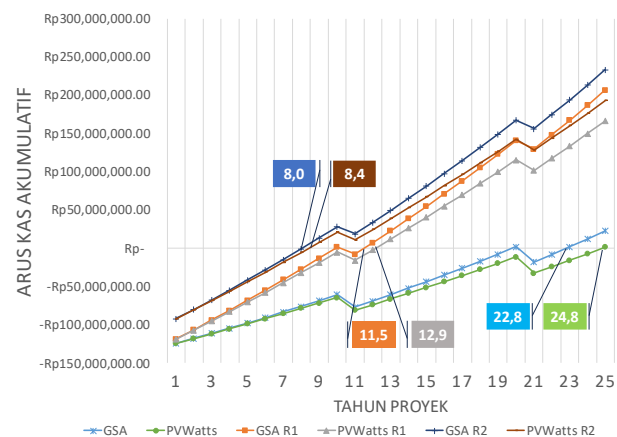
TABEL IV
HARGA RATA – RATA PLTS ATAP PER KWH

Tabel 4. Harga Rata – Rata PLTS Atap Harga Per kWh

Kapasitas (kWp)	Harga Investasi Awal (Rupiah)	Harga / kW (Rupiah)	Tipe
8 [15]	Rp 224.165.000	Rp 28.020.625	Off Grid
10 [10]	Rp 375.000.000	Rp 37.500.000	Off Grid
18 [14]	Rp 1.453.042.529	Rp 80.724.585	Off Grid
3.06 [13]	Rp 68.034.987	Rp 22.233.656	On Grid
3.6 [5]	Rp 82.789.545	Rp 22.997.096	On Grid
3.6 [5]	Rp 81.936.825	Rp 22.760.229	On Grid
8 [6]	Rp 144.504.000	Rp 18.063.000	On Grid

J. Rekomendasi

Sebagai bahan pembelajaran bagi masyarakat bila akan melakukan pemasangan pada bangunan pribadi non sosial serta sistem PLTS Atap dengan biaya investasi awal dengan jenis material non TKDN. Gambar 9 menunjukkan perbandingan antara analisis kelayakan pada kondisi biaya aktual saat ini dengan dua buah kondisi simulasi.



Gambar 9. Perbandingan Hasil Simulasi Produksi Tahunan

Rekomendasi 1 (R₁)

Pada kondisi ini PLTS Atap disimulasikan di pasang pada bangunan pelanggan tarif listrik reguler (R2-/TR) dengan biaya tagihan Rp1.699.53 / kWh. Pada Gambar 9 hasil simulasi di tunjukkan pada grafik GSA R₁ (simulasi aplikasi GSA) dan PVWatts R₁ (simulasi aplikasi PVWatts). Kedua simulasi menunjukkan bahwa perubahan tarif listrik mampu mempercepat PBP menjadi 11,5 tahun dan 12,9 tahun.

Rekomendasi 2 (R₂)

Pada kondisi ini disimulasikan bahwa nilai investasi awal pembangunan PLTS Atap kapasitas 5 kWp menggunakan harga PLTS Atap penelitian sebelumnya yaitu Rp107.567.476. Selanjutnya hasil simulasi dapat dilihat pada Gambar 9 untuk GSA R₂ (simulasi aplikasi GSA) dan PVWatts R₂ (simulasi aplikasi PVWatts) menunjukkan terdapat percepatan PBP. Kedua simulasi menunjukkan bahwa perubahan nilai investasi awal mampu mempercepat PBP menjadi 8 tahun dan 8,4 tahun.

IV. KESIMPULAN

Total energi yang dihasilkan dari pembangunan PLTS 5 kWp Pesantren Hufadzul Quran berdasarkan hasil simulasi GSA dan PVWatts hampir mendekati yaitu 7.30 MWh/tahun dan 7.13 MWh/tahun. Diperkirakan mampu mengurangi emisi CO₂ hingga 141.7 ton dan 138.5 ton CO₂ selama usia pakai 25 tahun. Kemudian dari sisi kelayakan investasi menunjukkan layak untuk di lakukan. Hal tersebut didasari dari diperolehnya nilai NPV positif Rp23.101.130 dan dan

Rp1.753.820. BCR diatas 1 dengan nilai 1.125 dan 1.009. Serta PBP kurang dari usia pakai 25 tahun yaitu 22.8 tahun dan 24.8 tahun. Meskipun masuk dalam batas nilai kriteria yang diberikan namun nilai PBP yang cukup besar perlu lebih diperhatikan. Hal tersebut disebabkan Pondok Pesantren dimana PLTS Atap dipasang masuk dalam golongan pelanggan PLN tarif sosial sehingga biaya tagihan per kWh nya sendiri sudah rendah sehingga nilai pengembalian dari energi PLTS juga rendah. Kewajiban pemenuhan material dengan TKDN tertentu menyebabkan biaya investasi awal lebih tinggi dibandingkan rata – rata biaya investasi penelitian yang sudah ada. Rekomendasi yang diberikan melalui pemasangan PLTS Atap kapasitas 5 kWp pada bangunan tarif sosial dan material non TKDN mampu secara efektif mempercepat waktu PBP menjadi 8 tahun dan 8.4 tahun.

Acuan utama pada analisis kelayakan investasi pada penelitian ini adalah besarnya energi yang dihasilkan PLTS. Produksi energi hasil simulasi menggunakan aplikasi berbasis Web yang memiliki keterbatasan. Maka penulis memberikan saran agar melakukan perancangan menggunakan aplikasi yang mampu memberikan parameter – parameter perancangan yang lebih spesifik seperti potensi objek bayangan, spesifikasi modul surya, spesifikasi inverter, konfigurasi instalasi kelistrikan dan lainnya sehingga hasil simulasi energi lebih akurat.

UCAPAN TERIMA KASIH

Ucapan terimakasih kami sampaikan kepada Kepala Dinas Energi dan Sumber Daya Mineral atas support yang telah diberikan sehingga penelitian ini dapat berjalan dengan lancar.

DAFTAR ACUAN

- [1] Presiden Republik Indonesia. *Peraturan Presiden Republik Indonesia Nomor 22 Tahun 2017 Tentang Rencana Umum Energi Nasional*. Indonesia. 2017. pp. 1–227.
- [2] Gubernur Jawa Tengah. *Peraturan Daerah Provinsi Jawa Tengah Nomor 12 Tahun 2018 Tentang Rencana Umum Energi Daerah Provinsi Jawa Tengah*. Indonesia: Peraturan Daerah Provinsi Jawa Tengah. 2018. pp. 1–113.
- [3] Pemerintah Provinsi Jawa Tengah and Dinas Energi dan Sumber Daya Mineral. *Rencana Strategis Dinas ESDM Provinsi Jawa Tengah Tahun 2024-2026*. INDONESIA. 2023. pp. 1–424.
- [4] Gubernur Jawa Tengah. *Implementasi Pembangunan Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) Atap*. Semarang. 2019.
- [5] F. Imaduddin et al., “Analisis Ekonomi Pemasangan Panel Surya Private House Menggunakan Tipe Atap dengan Sistem On Grid.” in *Prosiding ASeminar Nasional Teknik Mesin Politeknik Negeri Jakarta (2023)*. 2023. pp. 202–211. [Online]. Available: <http://prosiding.pnj.ac.id>
- [6] I. Made Sankhya Pranata Adiguna, I. Nyoman Setiawan, and I. A. Dwi Giriantari, “Perancangan Pembangkit Listrik Tenaga Surya Pada Rooftop Kantor PT. Bali Cukup Mandiri.” *SPEKTRUM*. vol. 10. no. 2. pp. 35–42. Jun. 2023.
- [7] Y. Kariongan and Joni, “Perencanaan dan Analisis Ekonomi Pembangkit Listrik Tenaga Surya Rooftop dengan Sistem On Grid sebagai Catu Daya Tambahan pada RSUD Kabupaten Mimika.” vol. 6. no. 1. pp. 3763–3773. 2022.
- [8] I. wayan S. Putra, I. N. S. Kumara, and R. S. Hartati, “Analisis Tekno Ekonomi Implementasi Sistem PLTS Atap Pada Gedung Kantor Walikota Denpasar.” *Majalah Ilmiah Teknologi Elektro*. vol. 21. no. 2. p. 185. Dec. 2022. doi: 10.24843/mite.2022.v21i02.p05.
- [9] F. Hidayat, B. Winardi, and A. Nugroho, “Analisis Ekonomi Perencanaan Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) di Departemen Teknik Elektro Universitas Diponegoro.” *TRANSIENT*. vol. 7. no. 4. pp. 2–8. Dec. 2018.
- [10] I. P. G. Riawan, I. N. S. Kumara, and W. G. Ariastina, “Analisis Performansi dan Ekonomi PLTS Atap 10 kWp pada Bangunan Rumah Tangga di Desa Batuan Gianyar.” *Majalah Ilmiah. Teknologi. Elektro*. vol. 21. no. 1. pp. 63–70. 2022. doi: 10.24843/MITE.2021.v20i02.P09nnnnn.
- [11] G. Pradika, I. A. D. Giriantari, and I. N. Setiawan, “Potensi Pemanfaatan Atap Tribun Stadion Kapten I Wayan Dipta Gianyar sebagai PLTS Rooftop.” *Majalah Ilmiah Teknologi Elektro*. vol. 19. no. 2. p. 225. Dec. 2020. doi: 10.24843/mite.2020.v19i02.p15.
- [12] I. N. C. Erawan, I. N. Setiawan, and I. W. Sukerayasa, “Analisis Mitigasi Emisi Karbon Serta Keekonomian Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) Atap On Grid 463.25 kWp di Perusahaan Farmasi Pada Kawasan PT. Jakarta Industrial Estate Pulogadung, Jakarta Timur.” *SPEKTRUM*. vol. 10. no. 3. pp. 29–37. Sep. 2023.
- [13] I. Komang Widi Astawa, I. Ayu Dwi Giriantari, and I. Wayan Sukerayasa, “Studi Ekonomis Penggunaan PLTS Rooftop 3 KWp Frameless with On-Grid System Pada Pelanggan R/4400 VA.” *SPEKTRUM*. vol. 8. no. 4. pp. 73–83. 2021.
- [14] S. Mulyani, A. Rosyid Idris, J. Teknik Elektro, and P. Negeri Ujung Pandang, “Analisis Perencanaan Pembangkit Listrik Tenaga Surya Sebagai Catu Daya Aerator dan Alat Pemberi Pakan Ikan.” in *Prosiding Seminar Nasional Teknik Elektro dan Informatika (SNTEI)*. 2023. pp. 59–66.
- [15] A. Dwi Budiarta, S. Handoko, D. Ajub, and A. Zahra, “Analisis Ekonomi Teknik Perencanaan Pembangkit Listrik Tenaga Surya Sistem Hybrid Pada Atap Kandang Ayam Closed House di Tualang Kabupaten Serdang Bedagai.” *Transient*. vol. 10. no. 2. pp. 345–353. Jun. 2021. [Online]. Available: <https://ejournal3.undip.ac.id/index.php/transient>
- [16] O. Sensa Ritzky Cinicy, J. Windarta, and S. Saptadi, “Economic Feasibility Study of Rooftop Solar Power Plant 32 kWp in PT KPJB Office Building, PLTU Tanjung Jati B. Kabupaten Jepara.” *Jurnal Energi Baru dan Terbarukan*. vol. 4. no. 2. pp. 97–107. Sep. 2023. doi: 10.14710/jebt.2023.17574.
- [17] Menteri Energi dan Sumber Daya Mineral. *Peraturan Menteri Energi dan Sumber Daya Mineral Nomor 28 Tahun 2016 tentang Tarid Tenaga Listrik yang Disediakan Oleh PT. Perusahaan Listrik Negara (Persero)*. Indonesia. 2016. pp. 1–24.
- [18] A. Stefanie and F. C. Suci, “Analisis Performansi PLTS Off-Grid 600 Wp menggunakan Data Akuisisi berbasis Internet of Things.” *ELKOMIKA: Jurnal Teknik Energi*

- Elektrik, Teknik Telekomunikasi, & Teknik Elektronika*, vol. 9, no. 4, p. 761, Oct. 2021, doi: 10.26760/elkomika.v9i4.761.
- [19] S. Abedi, M. H. Moradi, and R. Shirmohammadi, "Real-time photovoltaic energy assessment using a GSM-based smart monitoring system: Addressing the impact of climate change on solar energy estimation software," *Energy Reports*, vol. 10, pp. 2361–2373, Nov. 2023, doi: 10.1016/j.egy.2023.09.038.
- [20] D. D. Milosavljević, T. S. Kevkić, and S. J. Jovanović, "Review and validation of photovoltaic solar simulation tools/software based on case study," *Open Physics*, vol. 20, no. 1, De Gruyter Open Ltd, pp. 431–451, Jan. 01, 2022, doi: 10.1515/phys-2022-0042.
- [21] R. Surya Rahmany, J. Aldo, P. Batulicin, and T. Bumbu, "Simulasi Penggunaan Panel Surya Atap di Lingkungan Kampus Politeknik Batulicin," *KINEMATIKA*, vol. 8, no. 1, pp. 74–84, Jun. 2023, doi: 10.20527/sjmekinematika.v8i1.254.
- [22] Menteri ESDM, *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*, Indonesia: Permen ESDM, 2024, pp. 1–35, Accessed: Mar. 18, 2024, [Online]. Available: <https://jdih.esdm.go.id/storage/document/Permen%20ESDM%20Nomor%202%20Tahun%202024.pdf>
- [23] "Mono Multi Solutions 0~+5W Comprehensive Products and System Certificates," 2020, [Online]. Available: www.trinasolar.com
- [24] Huawei, "HUAWEI Solar Inverter SUN2000 Warranty and Service Conditions HUAWEI SUN2000 Inverter Warranty and Service Conditions Huawei Technologies (Australia) Pty Ltd."