

Analisis Teknik Serta Kelayakan Ekonomi Pada Perancangan Pembangkit Listrik Tenaga Surya Sistem *Hybrid*

Denis^{1*}, Jaka Windarta², Bambang Winardi³, Imam Arifan Nurdani⁴

^{1,2,3,4} Departemen Teknik Elektro, Universitas Diponegoro

^{1,2,3,4} Jln. Prof Soedarto S.H, Kota Semarang, 50273, Indonesia

E-mail: denisginting@elektro.undip.ac.id¹, jakawindarta@lecturer.undip.ac.id², bambangwinardi@lecturer.undip.ac.id³, arifan517@gmail.com⁴

Info Naskah:

Naskah masuk: 29 Oktober 2021

Direvisi: 27 Desember 2021

Diterima: 17 Januari 2022

Abstrak

Kebutuhan energi listrik nasional semakin meningkat setiap tahunnya. Hal ini disertai dengan penggunaan energi fosil yang semakin masif sebagai pembangkit listrik. Pemerintah menargetkan pangsa energi baru dan terbarukan (EBT) minimal 23% pada tahun 2025. Sebagai negara tropis, Indonesia memiliki potensi EBT yang besar, yang sebagian besar terdiri dari energi matahari dengan radiasi harian rata-rata 4,8 kWh / m² / hari. Perancangan pembangkit listrik tenaga surya (PLTS) di SMA Negeri 3 Surakarta merupakan upaya pemanfaatan EBT dan dapat dijadikan sebagai model sekolah ramah lingkungan bagi institusi publik sejenis dan masyarakat umum. PLTS ini menggunakan sistem *hybrid* dengan kapasitas pembangkitan 1230 Wp, SCC 60A, baterai 24 V 200 Ah dan inverter *hybrid* 2400 W. Menggunakan metode analisis dengan simulasi PVSyst dan RetScreen, PLTS ini menghasilkan listrik sebesar 1.653,2 kWh/tahun. Dengan investasi awal Rp 25.186.000, didapat hasil nilai *Net Present Value* adalah Rp 1.210.272 dan *Pay Back Period* pada tahun 24.

Keywords:

renewable energy;

solar power plant;

hybrid;

ret screen.

Abstract

National electrical energy needs are increasing every year. This is accompanied by an increasingly massive use of fossil energy as a power plant. The government is targeting a share of new and renewable energy (EBT) of at least 23% by 2025. As a tropical country, Indonesia has a large potential for new and renewable energy, which mostly consists of solar energy with an average daily radiation of 4.8 kWh/m²/day. The design of a solar power plant (PLTS) at SMA Negeri 3 Surakarta is an effort to utilize NRE and can be used as a model for environmentally friendly schools for similar public institutions and the general public. This PLTS uses a hybrid system with a generating capacity of 1230 Wp, SCC 60A, 24 V 200 Ah battery and a 2400 W hybrid inverter. Using analysis methods with PVSyst and RetScreen simulations, this PLTS generates electricity of 1,653.2 kWh/year. With an initial investment of IDR 25,186,000, the net present value is IDR 1,210,272 and the payback period is 24 years.

*Penulis korespondensi:

Denis

E-mail: denisginting@elektro.undip.ac.id

1. Pendahuluan

Kebutuhan listrik nasional diperkirakan akan tumbuh sekitar 11-12% pada tahun 2025 dan sekitar 6-7% pada tahun 2050, sehingga mencapai 576,2 TWh pada tahun 2025 dan kemudian menjadi 2.214 TWh pada tahun 2050 [1]. Menurut Jamaludin [2], sebagian besar pembangkit listrik di Indonesia menggunakan bahan bakar minyak, batu bara dan gas, dimana bahan tersebut semakin langka dan dapat menyebabkan pencemaran lingkungan.

Penggunaan energi primer untuk produksi energi yang diatur dalam Pasal 6 Undang-Undang Nomor 30 Tahun 2009 tentang Ketenagalistrikan dilaksanakan sesuai dengan Kebijakan Energi Nasional. Pemerintah menargetkan peningkatan pangsa energi baru dan terbarukan menjadi minimal 23% pada tahun 2025, asalkan nilai keekonomiannya tercapai [3]. Indonesia merupakan negara tropis di garis khatulistiwa yang kaya akan sumber energi matahari dengan intensitas radiasi matahari rata-rata sekitar 4,8 kWh/m²/hari di seluruh Indonesia [4].

Instansi publik seperti sekolah merupakan pelanggan yang memiliki kebutuhan daya yang cukup tinggi, seperti SMA Negeri 3 Surakarta. Konsumsi dayanya berasal dari PLN dengan keluaran 147.000 VA dengan tarif P1/TR, dimana pengelola SMA Negeri 3 Surakarta harus membayar Rp 1.444,7/kWh. Solusi dari permasalahan di atas adalah dengan menggunakan pembangkit listrik tenaga surya (PLTS) yang diterapkan di SMA Negeri 3 Surakarta sebagai sumber energi listrik terbarukan. Dengan pemanfaatan energi surya untuk PLTS maka sekolah ikut mendukung kebijakan pemerintah dalam menerapkan energi ramah lingkungan, dan dapat mendukung sekolah secara finansial serta dapat menjadi pelajaran bagi siswa SMA Negeri 3 Surakarta.

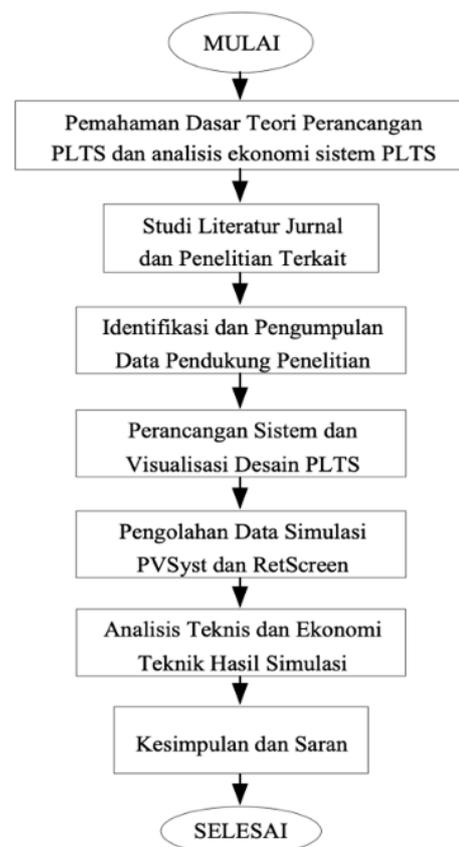
Penelitian mengenai PLTS pernah dilakukan oleh Al Bahar dari Universitas Krisnadwipayana mengenai PLTS sistem *Off-grid* [5]. Namun PLTS *off-grid* tersebut memiliki kekurangan yaitu biaya investasi yang besar karena membutuhkan baterai yang banyak dan sangat ketergantungan kepada penyinaran matahari. Sehingga dari penelitian tersebut peneliti merancang PLTS di SMAN 3 Surakarta dengan sistem *Hybrid*. *Hybrid* adalah sistem PLTS dimana daya listrik yang diproduksi oleh panel surya bisa digabungkan dengan daya dari PLN. Oleh karena itu, jika terjadi kekurangan daya atau pemadaman listrik, kedua sistem akan saling mem-*backup* secara bergantian. Energi listrik hasil produksi panel surya disimpan di dalam baterai sebagai penyuplai energy listrik pada beban di malam hari. Pada sistem ini, energi utama berasal dari panel surya, yang diubah dan disimpan menjadi baterai, ketika konsumsi daya melebihi kapasitas baterai, listrik PLN akan masuk secara otomatis. Sistem ini dipilih karena mempunyai kelebihan yaitu kehandalannya, hal ini cocok karena beban yang disuplai memerlukan kehandalan listrik.

Analisis teknis PLTS dengan sistem *On-grid* dan *Off-grid* juga dilakukan oleh Makinde K [6] dari *University of Rome, Italy*. Dari segi teknis, nilai rasio kinerja (PR) dari PLTS sistem *On-grid* di lokasi penelitian adalah 71,2% sedangkan untuk PLTS sistem *Off-grid* PV adalah 75%.

2. Metode

2.1 Perancangan dan Simulasi

Diagram alir dari Penelitian ini dapat dilihat pada Gambar 1. Penelitian dimulai dari tahap pemahaman dasar tentang teori PLTS, seperti prinsip kerja PLTS, komponen utama, dan faktor-faktor yang mempengaruhi energi hasil produksi modul surya melalui studi dari berbagai jurnal serta referensi yang terkait. Kemudian dilakukan pengambilan data pendukung penelitian seperti lokasi, data iradiasi matahari, temperatur wilayah, dan beban harian. Langkah selanjutnya adalah merancang sistem PLTS dan komponen apa saja yang diperlukan. Kemudian dengan bantuan software PVSyst dilakukan simulasi guna memperoleh potensi energi listrik yang bisa diproduksi oleh PLTS dan juga RetScreen sebagai alat bantu untuk analisis ekonomi.



Gambar 1. Diagram Alir Keseluruhan

2.2. Lokasi Penelitian

Pada penelitian ini dilakukan perancangan PLTS di SMA Negeri 3 Surakarta, Jl. Prof. Yohanes No 58, Purwodiningratan, Kecamatan Jebres, Kota Surakarta, Jawa Tengah yang berada di 7.5638477° LS dan 110.839561° BT seperti pada Gambar 2. Lokasi pemasangan PLTS adalah diatas ruang kamar mandi yang memiliki luas permukaan 7 m² seperti pada Gambar 3.



Gambar 2. Lokasi Penelitian



Gambar 3. Lokasi Rencana Pemasangan PLTS

Tabel 1. Intensitas Radiasi Matahari Di Lokasi Penelitian

Bulan	Iradiasi Matahari (kWh/m ² /hari)
Januari	4,75
Februari	4,57
Maret	4,56
April	4,80
Mei	4,57
Juni	4,85
Juli	5,08
Agustus	5,63
September	5,90
Oktober	4,99
November	5,21
Desember	4,28
Rata – rata	4,93

2.3. Data Sistem

2.3.1 Potensi Energi Matahari

Iradiasi matahari adalah salah satu parameter meteorologi yang diperlukan untuk mendapat perkiraan produksi energi. Berikut merupakan data intensitas radiasi matahari di Kota Surakarta, Jawa Tengah selama periode tahun 2020 diperoleh dari data yang diperoleh dari website NASA. Dari Tabel 1, intensitas radiasi matahari terendah berada di bulan Desember, yaitu 4,28 kWh/m²/hari. Sedangkan radiasi matahari tertinggi di bulan September

sebesar 5,9 kWh/m²/hari. Kemudian untuk rata-rata dalam setahun pada tahun 2020 tercatat sebesar 4,93 kWh/m²/hari.

Tabel 2. Temperatur Wilayah Di Lokasi Penelitian

Bulan	Temperatur (°C)
Januari	25,6
Februari	26,5
Maret	26,5
April	26,5
Mei	26,4
Juni	27,2
Juli	26,4
Agustus	25,9
September	26,2
Oktober	27,6
November	26,5
Desember	25,8
Rata – rata	26,4

Tabel 3. Beban dan Energi Harian Di Lokasi Penelitian

Beban	Jumlah	Daya (W)	Total Daya (W)	Waktu (h)	Energi (Wh)
Lampu jalan	1	70	70	12	840
Lampu bulu tangkis	20	40	800	3	2.400
Pompa aquaponik	2	85	170	7	1.190
Pompa hidroponik	2	35	70	7	490
Total			1110		4.920

Dari Tabel 2, suhu rata-rata bulanan Kota Surakarta relatif stabil antara 25-38 °C, dan suhu rata-rata 26,4 °C. Suhu tersebut merupakan suhu yang relatif optimal untuk lokasi PLTS.

2.3.2 Beban dan Energi Harian

Sistem PLTS yang terpasang di SMAN 3 Surakarta rencananya akan menyuplai beban lampu penerangan jalan 70 W, lampu lapangan bulu tangkis 800 W, pompa air aquaponik 170 W dan pompa air hidroponik 70 W, dengan rata – rata penggunaan energi harian sebesar 4,9 kWh/hari. Detail kebutuhan beban di SMAN 3 Surakarta yang akan disuplai oleh PLTS pada Tabel 3.

2.3.3 Komponen Utama PLTS

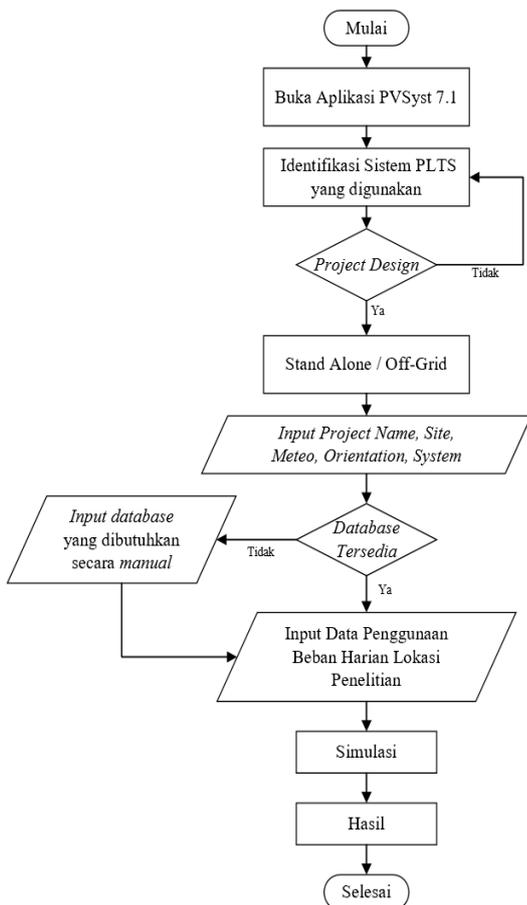
- Panel Surya, panel surya dalam perancangan PLTS ini adalah panel surya monokristalin dengan kapasitas 410 Wp sebanyak 3 buah dan dirangkai secara seri sehingga menghasilkan kapasitas 1.230 Wp.
- Baterai, baterai dalam perancangan PLTS ini adalah baterai tipe VRLA dari SMT Power kapasitas 100 Ah 12 V. 4 buah baterai disusun seri dan paralel sehingga menghasilkan baterai 24 V 200 Ah.
- Inverter *Hybrid*, inverter *hybrid* merupakan perangkat yang mendukung munculnya sistem *hybrid* pada PLTS. Inverter jenis ini memiliki 3 sumber catu daya yaitu panel surya, baterai dan listrik PLN. Daya AC dan pemutus arus. Tipe SCC yang digunakan dalam

perancangan ini adalah SCC tipe MPPT dengan kapasitas 60 A.

2.4 Analisis Teknis

Analisis teknis dilakukan berdasarkan kapasitas PLTS beserta komponen yang digunakan dan kondisi pemasangan sel surya untuk mendapatkan daya produksi dan keluaran PLTS. Dari komponen yang digunakan, indeks efisiensi atau indeks hasil dapat menunjukkan kualitas jaringan mini-PV.

Rasio kinerja umumnya dinyatakan sebagai persentase yang mewakili total rugi daya yang dihasilkan oleh sistem dibandingkan dengan sistem yang beroperasi di bawah kondisi standar (STC) [7]. Sistem PLTS memiliki kerugian yang disebabkan oleh efisiensi panel surya, suhu, kinerja baterai dan efisiensi inverter. Simulasi dilakukan pada perangkat lunak PVSyst 7.1 untuk mendapatkan hasil yang dapat digunakan sebagai analisis potensi pembangkit listrik dan kinerja desain. Adapun diagram alir dari pengoperasian perangkat lunak PVSyst 7.1 adalah pada Gambar 4.



Gambar 4. Diagram Alir Pengoperasian Perangkat Lunak PVSyst 7.1

Pengoperasian awal aplikasi PVSyst dilakukan dengan mengidentifikasi sistem PLTS yang akan digunakan. Pada penelitian ini menggunakan PLTS sistem *Hybrid* yang berbasis *off-grid* sehingga kita pilih sistem *Stand Alone*. Setelah itu dimasukkan data-data pendukung dan komponen-komponen yang digunakan, lalu disimulasikan.

Sehingga didapat besarnya daya listrik yang diproduksi PLTS, besarnya daya listrik yang disalurkan ke beban, serta besarnya daya listrik yang disuplai *backup* oleh PLN. Selain itu, dapat dilihat pula diagram rugi-rugi PLTS serta nilai rasio kinerja PLTS.

2.5 Analisis Ekonomi

Secara umum analisa ekonomi teknik dapat dikatakan sebagai analisis ekonomi pada suatu investasi teknik [8]. Analisis kelayakan ekonomi bertujuan untuk mengevaluasi kelayakan perancangan investasi teknologi dengan membandingkan pilihan-pilihan lain yang paling profitabel. Metode analisis ekonomi yang dipilih dalam perancangan ini adalah metode *Net Present Value* (NPV) dan metode *Payback Period* (PP). Selain dengan perhitungan biasa, perangkat lunak RetScreen 8.0.1 akan dipakai sebagai alat untuk menganalisis kelayakan ekonomi teknik dari proyek PLTS ini. Adapun diagram alir dari perangkat lunak RetScreen 8.0.1 adalah pada Gambar 5. sebagai berikut ini.



Gambar 5. Diagram Alir Pengoperasian Perangkat Lunak RetScreen 8.0.1

Pengoperasian aplikasi RetScreen dilakukan dengan memasukkan biaya investasi awal, kemudian biaya tahunan dari PLTS. Kemudian dimasukkan besar penghematan tahunan yang dihasilkan, lalu ditentukan tingkat inflasi dan masa proyek dari PLTS.

2.5.1 Net Present Value (NPV)

Metode *Net Present Value* (NPV) adalah metode dengan menghitung selisih antara nilai investasi awal dengan nilai sekarang (*present*) penerimaan kasebersih dimasa yang akan datang [9]. Asumsi *present* yaitu menjelaskan waktu awal perhitungan bertepatan dengan saat evaluasi dilakukan atau pada periode tahun ke-nol (0) pada perhitungan *cash flow* investasi [10].

Kriteria metode NPV dalam menentukan layak atau tidaknya suatu investasi secara ekonomis adalah apabila nilai NPV lebih dari 0 (positif) artinya investasi tersebut

layak, sebaliknya apabila nilai NPV kurang dari 0 (negatif) artinya investasi tersebut tidak layak.

2.5.2 Payback Period (PP)

Payback period (PP) adalah waktu yang diperlukan untuk mengembalikan biaya investasi, yang dihitung dengan menggunakan arus kas. PP adalah rasio investasi awal dengan arus kas masuk, yang diubah menjadi satuan waktu. Menurut Priyo [11], semakin awal *payback period* dari periode yang ditentukan oleh perusahaan, maka proyek investasi tersebut dapat dikatakan layak. Jika periode penilaian proyek lebih awal dari umur proyek, investasi dianggap layak, sedangkan periode penilaian proyek lebih lama dari umur proyek, investasi dianggap tidak layak.

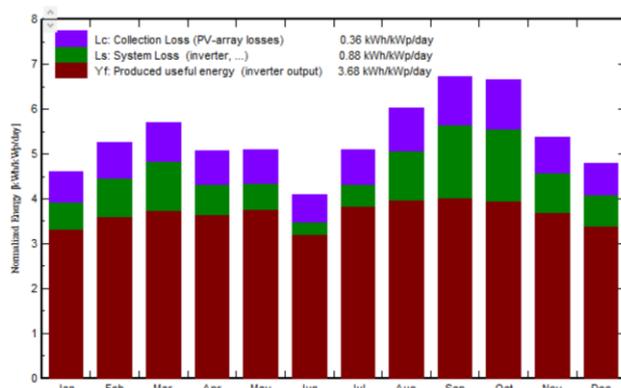
3 Hasil dan Pembahasan

3.1. Hasil Simulasi

Berikut adalah hasil simulasi dari PVSyst 7.1 pada perencanaan PLTS *hybrid* dapat dilihat pada tabel 4. Berdasarkan Tabel 4 energi listrik yang dihasilkan oleh sel surya sebesar 2.046,8 kWh, kemudian energi listrik tersebut disimpan dalam baterai kemudian diubah menjadi arus bolak-balik oleh inverter, energi listrik yang dihasilkan berkurang menjadi 1.791,4 kWh karena adanya efisiensi dari baterai dan inverter itu sendiri Energi listrik yang disuplai ke konsumen adalah 1.653,2 kWh dan membutuhkan energi 138,17 kWh dari sistem jaringan PLN (*grid*). Terdapat energi yang tidak terpakai sebesar 206,02 kWh yang berasal dari kelebihan produksi listrik panel surya, namun keadaan baterai sudah penuh dan tidak dapat diumpankan ke jaringan PLN.

Tabel 4. Hasil simulasi PLTS setiap bulannya

	GlobIhor kWh/m ²	DiffIhor kWh/m ²	T_Amb °C	GlobInc kWh/m ²	GlobEff kWh/m ²	EArray kWh	E_User kWh	E_Solar kWh	E_Unused kWh	EFGrid kWh
January	139.9	80.59	25.55	142.5	138.9	150.0	151.5	126.8	12.75	24.72
February	148.7	89.06	26.54	147.0	143.7	153.5	137.4	124.1	16.03	13.32
March	181.3	89.96	26.51	176.8	172.8	184.3	152.3	142.8	24.99	9.46
April	161.4	67.34	26.54	152.3	148.2	160.0	147.6	134.4	9.72	13.23
May	174.4	55.76	26.41	158.3	152.5	165.7	151.5	143.6	5.58	7.87
June	135.8	63.27	27.24	123.1	117.9	129.0	147.6	118.5	0.00	29.13
July	174.5	55.05	26.36	157.6	151.4	164.7	152.3	146.4	1.03	5.91
August	201.7	54.61	25.86	186.7	180.3	193.8	151.5	151.5	24.21	0.00
September	209.1	58.32	26.18	201.7	196.8	208.5	148.4	148.4	40.21	0.00
October	206.4	73.44	27.63	206.2	202.1	212.3	151.5	150.8	44.42	0.72
November	158.2	83.94	26.53	161.3	157.8	169.0	146.8	136.8	15.25	10.01
December	144.7	77.47	25.79	148.5	145.1	156.0	153.1	129.3	11.82	23.78
Year	2034.3	808.81	26.43	1961.9	1907.5	2046.8	1791.4	1653.2	206.02	138.17

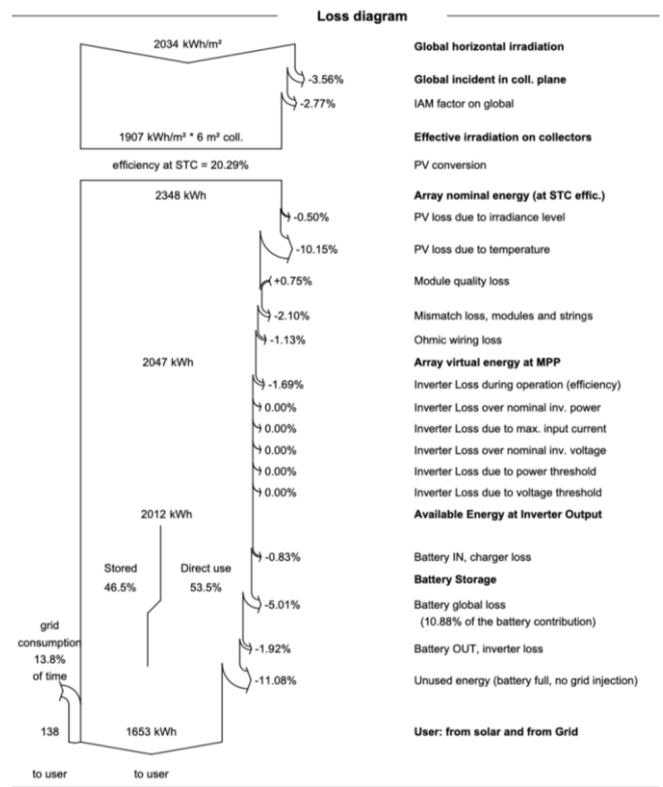


Gambar 6. Grafik Produksi PLTS

Berdasarkan Gambar 6, PLTS di lokasi penelitian memiliki hasil produksi energi listrik yang beragam dan fluktuatif setiap bulannya. Dengan rata-rata produksi energi listrik yang dapat digunakan sebesar 3,68 kWh/kWp/day, rata-rata rugi-rugi pada array surya sebesar 0,36 kWh/kWp/day, dan rata-rata rugi-rugi pada inverter dan komponen lain sebesar 0,88 kWh/kWp/day.

3.2. Analisis Teknis

Berdasarkan hasil simulasi dengan PVSyst 7.1, PLTS *hybrid* SMAN 3 Surakarta, jumlah energi listrik yang dapat diproduksi mengalami berbagai rugi-rugi daya seperti yang ditampilkan pada Gambar 7.



Gambar 7. Diagram rugi-rugi PLTS

Berdasarkan Gambar 7 tingkat insolasi matahari atau radiasi matahari pada bidang datar di lokasi penelitian adalah sebesar 2.034,3 kWh/m². Namun karena orientasi panel surya dipasang dengan sudut slope 10° dan sudut azimuth 164° mengakibatkan radiasi yang diterima panel surya mengalami rugi-rugi sebesar 72,4 kWh/m² atau sebesar 3,56% dari total potensi insolasi matahari di wilayah tersebut sehingga menjadi sebesar 1.961,9 kWh/m². Kemudian akan berkurang lagi sebesar 2,77% akibat dari efek pantulan sinar matahari pada kaca penutup panel surya menjadi sebesar 1.907 kWh/m². Panel surya dengan luas 6,06 m², potensi energi listrik dari radiasi yang diterima sebesar 11.559,45 kWh, kemudian dengan nilai efisiensi panel sebesar 20,29%, energi listrik yang dihasilkan *array* adalah sebesar 2.347,9 kWh. Lalu energi mengalami rugi-rugi diakibatkan oleh temperatur sebesar 10,15%, pengkabelan sebesar 1,13% dan inverter sebesar

1,69% sehingga daya keluaran array surya adalah 2012,2 kWh selama setahun.

Mode penggunaan energi listrik yang dihasilkan oleh panel surya dibagi menjadi 2 macam yaitu *direct use* dan *stored*. *Direct use* atau penggunaan langsung adalah energi listrik yang digunakan langsung oleh beban dari panel menuju inverter. Sedangkan *stored* adalah energi listrik yang disimpan pada baterai untuk digunakan pada saat panel surya tidak sedang memproduksi listrik, yaitu pada malam hari. Berdasarkan Gambar 7 terlihat bahwa dari energi yang dihasilkan sebesar 2.012,2 kWh, sebanyak 53,5% (1.077,366 kWh) energi listrik langsung disalurkan menuju beban. Sedangkan 46,5% (934,834 kWh) disimpan dalam baterai dan mengalami rugi-rugi dari baterai. Sehingga detail pemakaian energi bisa dilihat dengan Tabel 5.

Tabel 5. Rincian Penggunaan Energi Listrik PLTS

Bulan	Total Beban (kWh)	Energi Listrik dari Baterai (kWh)	Energi Langsung yang Dihasilkan (kWh)	Energi yang Tidak Terpakai (kWh)	Energi dari PLN (kWh)
Januari	151,48	62,3686	77,1255	12,735	24,722
Februari	137,44	58,4284	81,7175	16,03	13,322
Maret	152,28	65,8094	102,0036	24,995	9,4626
April	147,6	66,7144	77,3726	9,7191	13,233
Mei	151,48	72,6816	76,514	5,5816	7,8691
Juni	147,6	56,3012	62,1672	0	29,131
Juli	152,28	69,2306	78,1659	1,0279	5,9148
Agustus	151,48	68,756	106,9361	24,211	0
September	148,4	61,4633	127,1535	40,215	0
Oktober	151,48	70,4548	124,7288	44,422	0,7219
November	146,8	67,9012	84,1457	15,255	10,012
Desember	153,08	61,825	79,2956	11,815	23,779
Total	1791,4	781,885	1077,366	206,01	138,17

Tabel 6. Rasio Kinerja PLTS

Bulan	PR Ratio (%)
Januari	72,3
Februari	68,7
Maret	65,7
April	71,7
Mei	73,8
Juni	78,2
Juli	75,5
Agustus	66
September	59,8
Oktober	59,5
November	68,9
Desember	70,8
Rata-rata	68,5

Performance Ratio atau rasio kinerja ialah rasio atau tingkat perbandingan energi listrik yang diproduksi secara efektif oleh sistem dengan energi listrik yang akan dihasilkan jika sistem terus bekerja dalam kondisi standar (STC). Nilai PR lebih besar di musim dingin daripada di musim panas dan biasanya berada dalam kisaran 60% hingga 80% [12]. Rasio kinerja pada penelitian di India berkisar antara 70% dan 80% [13].

Nilai PR yang dihasilkan oleh PLTS berubah-ubah setiap bulannya diakibatkan oleh rugi-rugi yang ada seperti pada Tabel 6. Mengacu pada penelitian sejenis sebelumnya menunjukkan bahwa perancangan PLTS *hybrid* di lokasi

penelitian dengan nilai rasio kinerja (PR) sebesar 68,5% dapat dikatakan baik.

Tabel 7. Simpulan Hasil Simulasi PLTS *Hybrid*

Energi Listrik Panel STC (kWh)	Energi Listrik Keluaran Panel Surya (kWh)	Energi dari PLTS ke Beban (kWh)	Energi dari PLN ke Beban (kWh)	Rasio Kinerja (%)
2.347,9	2.046,8	1.653,2	138,17	68,5

Berdasarkan Tabel 7, energi listrik yang dihasilkan oleh panel surya dalam kondisi standar (STC) dihasilkan dengan bantuan simulasi yaitu 2.347,9 kWh per tahun, PLTS menggunakan panel surya merek Astronergy dengan efisiensi 20,29 dengan luas matriks 6,06 m², Modul surya monokristalin cenderung memiliki tingkat efisiensi yang lebih tinggi dibandingkan modul surya polikristalin [14], karena bahan baku utama untuk produksi modul monokristalin adalah silikon dengan konsentrasi yang lebih tinggi daripada silikon pada modul polikristalin. Selain itu, produksi energi listrik panel surya pada mengalami rugi-rugi sebesar 301,1 kWh atau 12,82% per tahun dari kondisi STC, sehingga energi listrik yang dihasilkan menjadi 2.046,8 kWh.

3.3 Analisis Ekonomi Teknik

Berdasarkan metode *Net Present Value* (NPV) dan *Payback Period* (PP), kelayakan perancangan investasi PLTS yang akan dirancang di SMAN 3 Surakarta dapat ditentukan. Hasil dari simulasi dipengaruhi oleh total biaya investasi awal, biaya operasional dan perawatan, penghematan energi listrik, tingkat diskonto, serta nilai inflasi. Total biaya investasi dari tiap variasi berasal dari survei toko di wilayah Kota Semarang dan beberapa toko online di Indonesia. Sedangkan tingkat diskonto dan nilai inflasi diperoleh melalui website Bank Indonesia [15]. Biaya investasi awal untuk komponen-komponen yang digunakan pada PLTS sistem *hybrid* bisa dilihat di Tabel 8.

Tabel 8. Biaya Investasi Awal PLTS

Komponen	Jumlah	Harga	Total
Panel Surya Astronergy 410Wp	3	Rp 1.890.000	Rp 5.670.000
Baterai SMT12100	4	Rp 2.025.000	Rp 8.100.000
Inverter Hybrid 2400 W	1	Rp 6.200.000	Rp 6.200.000
Proteksi	1	Rp 683.000	Rp 683.000
Kabel	1	Rp 2.082.000	Rp 2.082.000
Jasa dan lain - lain	1	Rp 2.451.000	Rp 2.451.000
Total			Rp 25.186.000

Biaya tahunan terdiri dari biaya pemeliharaan dan operasional, penggantian baterai, dan pemakaian listrik dari PLN. Biaya pemeliharaan dan operasional setiap tahunnya untuk PLTS biasanya diperhitungkan sebesar 1-2% dari total biaya investasi awal untuk setiap komponen sistem PLTS [16]. Selain itu juga terdapat biaya penggantian baterai per tahun dan biaya pemakaian listrik dari PLN dengan harga Rp 1.444,70/kWh. Sehingga biaya tahunan untuk sistem PLTS *hybrid* dapat dilihat pada Tabel 9.

Penghematan tahunan termasuk penghematan biaya listrik yang harus dibeli dari PLN, tetapi diganti dengan

pasokan yang dihasilkan oleh PLTS untuk memasok beban dan dari penjualan baterai lama. Oleh karena itu, penghematan tahunan PLTS *Hybrid* bisa dilihat pada Tabel 10.

Tabel 9. Biaya Tahunan PLTS

Komponen	Jumlah	Harga	Total
O&M Panel Surya Astronergy 410 Wp	3	Rp 18.900	Rp 56.700
O&M Baterai SMT12100	4	Rp 324.000	Rp 1.296.000
O&M Inverter Hybrid 2400 W	1	Rp 62.000	Rp 62.000
O&M Proteksi	1	Rp 6.830	Rp 6.830
O&M Kabel	1	Rp 5.000	Rp 20.820
O&M Dan lain - lain	1	Rp 100.000	Rp 24.510
Penggunaan listrik PLN	138,17 kWh	Rp 1.444,7	Rp 199.614
Total			Rp 1.990.474

Tabel 10. Penghematan Tahunan PLTS

Jenis	Jumlah	Harga	Total
Penghematan Listrik	1.653,2 kWh	Rp 1.444,7	Rp 2.388.378
Penjualan Baterai	4	Rp 80.000	Rp 320.000
Total			Rp 2.708.378

Tabel 11. Hasil Analisis Kelayakan Ekonomi PLTS

Kriteria Kelayakan	Hasil Analisis Ekonomi
Net Present Value (NPV)	Rp 1.210.272
Payback Period (PP)	24,2

Berdasarkan data tersebut, dilakukan analisis kelayakan ekonomi PLTS *hybrid* yang dapat dilihat pada tabel 11. Berdasarkan hasil analisis ekonomi didapatkan nilai NPV Rp 1.210.272 sehingga dapat dikatakan bahwa investasi PLTS *hybrid* di lokasi penelitian layak untuk dilaksanakan karena memiliki nilai NPV lebih dari nol (>0) dan waktu *payback period* pada tahun ke-24,2.

4 Kesimpulan

PLTS *hybrid* yang dirancang pada penelitian ini memiliki konfigurasi berkapasitas 1230 Wp dengan baterai 24 V 200 Ah. Energi listrik pertahun yang dihasilkan dari PLTS *hybrid* ini adalah 1.653 kWh dengan rasio kinerja 68,5%. Berdasarkan analisis ekonomi teknik, PLTS *hybrid* layak untuk dilaksanakan karena memiliki nilai NPV yaitu Rp 1.210.272 dan *Payback Period* selama 24,2 tahun. Hasil yang ditunjukkan dalam makalah ini menunjukkan kesenjangan dibandingkan dengan penelitian sebelumnya dikarenakan perbedaan kondisi lingkungan dan cuaca serta sistem PLTS yang dipilih. Pada penelitian selanjutnya dapat dilakukan sistem PLTS *Hybrid On-Grid* agar kelebihan produksi listrik PLTS dapat disalurkan ke grid PLN.

Daftar Pustaka

- [1] D. E. N., Outlook Energi Indonesia (OEI) 2019. 2019.
- [2] J. Jamaludin, "OPTIMASI ALIRAN KOMPRESSOR PADA TURBIN GAS UNTUK PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA BIOMASS DENGAN KAPASITAS 20 MW," *Jurnal Teknik*, vol. 5, no. 2, 2016, doi: 10.31000/jt.v5i2.343.
- [3] Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral, RENCANA UMUM KETENAGALISTRIKAN NASIONAL 2019 - 2038. Jakarta, 2019.
- [4] Kementerian Perindustrian Republik Indonesia, "Booklet Seminar Nasional Teknologi Industri Hijau," vol. 2, no. Peran teknologi ramah lingkungan untuk mendukung industri hijau, May 2017.
- [5] A. K. al Bahar and A. T. Maulana, "Perencanaan dan Simulasi Sistem PLTS Off-Grid Untuk Penerangan Gedung Fakultas Teknik UNKRIS," *Jurnal Ilmiah Elektrokrisna*, vol. 6, no. 3, 2018.
- [6] K. A. Makinde, O. B. Adewuyi, A. O. Amole, and O. A. Adeaga, "Design of Grid-connected and Stand-alone Photovoltaic Systems for Residential Energy Usage: A Technical Analysis," *Journal of Energy Research and Reviews*, 2021, doi: 10.9734/jenrr/2021/v8i130203.
- [7] J. Windarta, S. Saptadi, Denis, D. A. Satrio, and J. S. Silaen, "Economic Feasibility Analysis of Rooftop Solar Power Plant Design with Household-Scale On-Grid System in Semarang City," in *E3S Web of Conferences*, 2020, vol. 202. doi: 10.1051/e3sconf/202020209002.
- [8] Pujawan I. N., *Ekonomi Teknik Edisi 3*, 3rd ed. Yogyakarta: Lautan Pustaka, 2019.
- [9] M. Giatman, *EKONOMI TEKNIK*. Jakarta: RajaGrafindo Persada, 2011.
- [10] T. Afaz and M. Gusman, "Analisis Kelayakan Investasi Menggunakan Metode Discounted Cash Flow pada Tambang Aspal PT. Wijaya Karya Bitumen di Desa Nambo Kecamatan Lasalimu, Kabupaten Buton, Sulawesi Tenggara," *Jurnal Bina Tambang*, vol. 6, no. 6, 2021.
- [11] M. IR. Mandiyo Priyo, "Ekonomi Teknik," *Journal of Materials Processing Technology*, vol. 1, no. 1, 2018.
- [12] B. Marion et al., "Performance parameters for grid-connected PV systems," 2005. doi: 10.1109/PVSC.2005.1488451.
- [13] A. K. Saxena, S. Saxena, and K. Sudhakar, "Energy, economic and environmental performance assessment of a grid-tied rooftop system in different cities of India based on 3E analysis," *Clean Energy*, vol. 5, no. 2, 2021, doi: 10.1093/ce/zkab008.
- [14] S. Sugianto, "Comparative Analysis of Solar Cell Efficiency between Monocrystalline and Polycrystalline," *INTEK: Jurnal Penelitian*, vol. 7, no. 2, 2020, doi: 10.31963/intek.v7i2.2625.
- [15] Bank Indonesia, "Data Inflasi - Bank Sentral Republik Indonesia," Data Inflasi - Bank Sentral Republik Indonesia, 2021.
- [16] J. Windarta, E. W. Sinuraya, Denis, D. Mahardhika, and I. Muammar, "Studi Perancangan Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) dengan Sistem On Grid untuk Supply Listrik pada Lingkungan Bank Perkreditan Rakyat Pedesaan di BPR BKK Mandiraja Cabang Wanayasa Kabupaten Banjarnegara ditinjau dari Teknis dan Ekonomi Teknik," Dec. 2020.
- [17] Denis, E.W. Sinuraya, dkk, "Analysis of Performance and Control of DC Microgrids as Electricity Providers for Renewable Energy", *The 6th International Conference on Energy, Environment, Epidemiology, and Information System (ICENIS 2021)*, Semarang, 2021, doi: 10.1051/e3sconf/202131704032
- [18] B. Winardi, E.W. Sinuraya, A. Nughrogo, Denis, "Design and Implementation of Rooftop off Grid Solar Panel for Household Electricity Loads", *8th International Conference on Information Technology Computer and Electrical Engineering (ICITACEE)*, Semarang, 2021, doi: 10.1109/ICITACEE53184.2021.9617551