

ANALISIS POTENSI DAN UNJUK KERJA PERENCANAAN PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA SURYA DI SMA NEGERI 4 SEMARANG MENGGUNAKAN PVSYST 6.43

Farizky Tirta*), Bambang Winardi dan Budi Setiyono

Departemen Teknik Elektro, Universitas Diponegoro, Semarang, Indonesia
Jl. Prof. Sudharto, SH., Kampus UNDIP Tembalang, Semarang 50275, Indonesia

*)E-mail: farizkytirta226@gmail.com

Abstrak

Indonesia merupakan negara yang secara geografis dilalui oleh garis khatulistiwa sehingga memiliki potensi besar dalam hal pemanfaatan energi matahari. Menurut Power Data Acces Viewer NASA pada tahun 2019 Indonesia mempunyai tingkat radiasi rata-rata yang relatif tinggi yaitu sebesar 4,8 kWh/m²/hari dan di wilayah kota semarang mempunyai tingkat radiasi rata-rata sebesar 5,6 kWh/m²/hari. SMA Negeri 4 Semarang memiliki lahan kosong dan area parkir yang terbuka dan belum teroptimalkan dengan baik sehingga dapat digunakan untuk siteplan PLTS yang cukup besar. PLTS Off Grid merupakan sistem PLTS yang hanya mengandalkan energi matahari sebagai satu-satunya sumber energi utama dengan menggunakan rangkaian photovoltaic module untuk menghasilkan energi listrik sesuai kebutuhan dan menggunakan baterai sebagai pemasok daya cadangan. Melalui software PVSyst 6.43, potensi dan kinerja dari perencanaan PLTS di SMA Negeri 4 Semarang ini diperkirakan memiliki potensi 84,489 MWh tiap tahunnya yang terdiri dari 480 modul berkapasitas 100 wp/modul, 68 baterai dengan kapasitas 24v200ah/baterai, 1 unit inverter 45kWh dan 5 unit SCC 460A/unit. Setelah melalui proses konversi energi listrik berkurang menjadi 75,530 MWh dengan pembagian 62,414 MWh digunakan untuk mensuplai beban dan 12,116 MWh dikirim ke Baterai sebagai pemasok daya cadangan dan untuk pemasok daya di malam hari.

Kata Kunci : Photovoltaic, PLTS, Off Grid, PVSyst 6.43

Abstract

Indonesia is a country that is geographically traversed by the equator so it has great potential in terms of solar energy utilization. According NASA's Power Data Acces Viewer in 2019 Indonesia has relatively high average radiation level 4.8 kWh/ m²/day and the Semarang city has average radiation level of 5.6 kWh/m²/day. SMA Negeri 4 Semarang has vacant land and open parking area that has not been well optimized so that can be used for large PLTS siteplan. PLTS Off Grid is PLTS system that relies solely on solar energy as the only major source of energy by using photovoltaic modules to generate electrical energy and using batteries as a backup power supplier. Through PVSyst 6.43, the potential and performance PLTS planning at SMA Negeri 4 Semarang is estimated to have potential 84,489 MWh each year consisting of 480 modules with 100 wp / module, 68 batteries with 24v200ah / battery, 1 45kWh inverter unit and 5 units SCC 460A / unit. After going through the process of conversion of electrical energy is reduced to 75,530 MWh with a distribution of 62,414 MWh used to supply the load and 12,116 MWh sent to the Battery as backup power supplier.

Keywords : Photovoltaic, PLTS, Off Grid, PVSyst 6.43

1. Pendahuluan

Kebutuhan energi yang terus meningkat dapat dijadikan sebagai indikator kemakmuran suatu negara, namun bersamaan dengan hal itu akan menimbulkan masalah dalam usaha penyediaannya. Sebagian besar manusia masih mengandalkan energi fosil untuk memenuhi kebutuhan energi, sehingga semakin lama energi fosil yang ada akan semakin menipis. Kondisi cadangan energi fosil yang terus berkurang ini diantisipasi oleh Pemerintah Indonesia dengan lebih meningkatkan penggunaan Energi

Baru dan Terbarukan. Saat ini Pemerintah Republik Indonesia melalui RUPTL (Rencana Usaha Penyediaan Tenaga Listrik) menargetkan bauran Energi Baru dan Terbarukan (EBT) mencapai 23% pada tahun 2025. Sementara itu per Oktober 2019 penggunaan EBT baru mencapai 12,1%. Pengembangan tenaga surya untuk tenaga listrik diproyeksikan sebesar 6,5 GW pada tahun 2025 dan 45 GW pada tahun 2050 atau 22% dari potensi surya sebesar 207,9 GW [1]. Indonesia merupakan negara yang secara geografis dilalui oleh garis khatulistiwa sehingga memiliki potensi besar dalam hal pemanfaatan energi matahari. Hal ini dikarenakan besarnya radiasi

matahari dipengaruhi oleh letak garis lintang, kondisi atmosfer, dan posisi matahari terhadap garis khatulistiwa [2]. Indonesia yang terletak di 6° LU – 11° LS dan 95° - 141° BT memiliki tingkat radiasi rata-rata yang relatif tinggi yaitu sebesar $4,8 \text{ kWh/m}^2/\text{hari}$ [3]. Berdasarkan fakta tersebut, tentunya Indonesia memiliki modal besar untuk mengembangkan teknologi *Photovoltaic* untuk membangkitkan tenaga listrik dari energi matahari. Beberapa faktor yang mempengaruhi efisiensi daya keluaran sel surya adalah radiasi matahari, temperatur sel surya, orientasi panel surya, sudut kemiringan panel surya, dan pengaruh bayangan. [4].

Untuk memaksimalkan daya keluaran yang dihasilkan, maka sel surya harus memperoleh radiasi matahari maksimal dan dibutuhkan temperatur relatif rendah agar daya keluaran yang dihasilkan meningkat. SMA Negeri 4 Semarang merupakan salah satu SMA dengan siswa dan pegawai yang banyak. SMA Negeri 4 Semarang juga memberikan beberapa fasilitas sebagai penunjang kinerja siswa, guru serta staff. Fasilitas yang ada meliputi laboratorium, kantin, peribadatan, ruang kelas, perpustakaan, ruang kesenian, ruang komite sekolah, ruang OSIS, kamar mandi, ruang UKS, dll. Fasilitas tersebut memiliki benda-benda yang membutuhkan energi listrik seperti komputer, kipas angin, lampu, dan lain sebagainya. Lalu jika listrik padam, maka segala kegiatan akan terhambat dikarenakan segala urusan kegiatan belajar mengajar akan mengalami gangguan. Salah satu cara agar kegiatan belajar mengajar tetap berlangsung normal yaitu dengan memasang PLTS sebagai tenaga listrik utama dan baterai sebagai tenaga cadangannya.[5].



Gambar 1. Sarana parkir sepeda motor SMA Negeri 4 Semarang

Secara astronomis SMA Negeri 4 Semarang terletak pada 7.047° LS dan 110.40° BT. SMAN 4 Semarang mempunyai lahan kosong dan tidak terpakai. Hal ini akan sangat baik apabila lahan kosong tersebut dimanfaatkan untuk menghasilkan energi listrik yang bersumber dari cahaya matahari. Oleh karena itu, pada penelitian ini dibuat perencanaan PLTS dengan memanfaatkan lahan kosong pada SMAN 4 Semarang sebagai lahan PLTS tersebut. Sarana parkir sepeda motor SMA Negeri 4 Semarang

berbentuk lahan parkir terbuka dengan luas lahan sebesar 600 m^2 . Area potensial lainnya adalah lahan yang memiliki luas 500 m^2 .

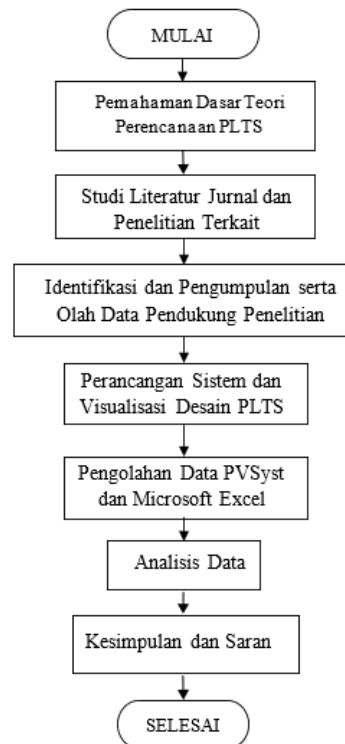


Gambar 2. Lahan kosong SMA Negeri 4 Semarang.

Adapun penelitian tugas akhir ini bertujuan guna merancang dan menganalisis potensi dan unjuk kerja PLTS dengan memanfaatkan serta mengoptimalkan penggunaan lahan sarana parkir sepeda motor dan lahan kosong di SMA Negeri 4 dengan Sistem PLTS *OffGrid* yang mengandalkan energi matahari sebagai satu-satunya sumber energi utama dengan menggunakan rangkaian *photovoltaic module* untuk menghasilkan energi listrik sesuai kebutuhan dan mengisi baterai sebagai pemasok daya cadangan atau untuk pemasok daya di malam hari dengan menggunakan perangkat lunak PVSyst 6.43.

2. Metode

2.1. Perancangan Simulasi



Gambar 3. Diagram alir pengerjaan Tugas Akhir

Diagram alir dari Tugas Akhir berjudul “Analisis Potensi dan Unjuk Kerja Perencanaan Pembangkit Listrik Tenaga Surya di SMA Negeri 4 Semarang” dapat dilihat pada gambar 3.

2.2. Pengambilan Data

Pada tahap pengerjaan Tugas Akhir ini, dilakukan pengambilan data dari *NASA Prediction of Worldwide Energy Resource Higher Resolution Daily Time Series Climatology Resource for SSE-Renewable Energy* guna mengetahui beragam parameter meteorologi dan klimatologi di wilayah perencanaan yakni di wilayah Kota Semarang selama periode tahun 2019. Adapun beberapa data yang diperlukan guna pengerjaan tugas akhir ini adalah sebagai berikut:

Tabel 1. Data Intensitas Radiasi Matahari di Kota Semarang pada Tahun 2019

BULAN	Intensitas Radiasi Matahari (kWh/m ² /hari)
Januari	4.90
Februari	5.30
Maret	4.80
April	5.20
Mei	5.44
Juni	5.30
Juli	5.45
Agustus	6.04
September	6.39
Oktober	6.58
November	6.24
Desember	5.60
Rata-Rata	5.60

Tabel 2. Data Temperatur Kota Semarang pada tahun 2019

BULAN	Temperatur Rata-rata (°C)
Januari	27,90
Februari	27,90
Maret	27,80
April	28,70
Mei	29,00
Juni	28,50
Juli	28,40
Agustus	28,20
September	28,80
Oktober	28,80
November	29,00
Desember	28,40
Rata-Rata	28,40

Data pada tabel 1 dan tabel 2 adalah dua parameter meteorologi yang diperlukan dalam simulasi untuk mengetahui pengaruh lama penyinaran terhadap produksi energi listrik PLTS.

Selain itu pengambilan data guna menunjang Tugas Akhir ini diperoleh juga melalui pengukuran perkiraan penggunaan beban harian di SMA Negeri 4 Semarang. Data ini dibutuhkan sebagai estimasi penggunaan beban

harian yang dicatu oleh listrik PLN baik dalam hari kerja maupun hari libur.

Pengambilan data dilakukan dengan observasi manual secara periodik dan diperoleh hasil menurut pemakaian per jam dalam sehari seperti pada tabel 3 berikut ini.

Tabel 3. Data perkiraan beban per jam di SMA Negeri 4 Semarang

Waktu (WIB)	Beban (W)	
	Hari kerja	Hari libur
00.00 – 00.59	3.211,4	2.810,9
01.00 – 01.59	3.166,4	2.765,9
02.00 – 02.59	3.166,4	2.765,9
03.00 – 03.59	3.166,4	2.765,9
04.00 – 04.59	3.186,4	2.785,9
05.00 – 05.59	3.186,4	2.785,9
06.00 – 06.59	2.217,4	1.786,9
07.00 – 07.59	8.805,4	3.382,9
08.00 – 08.59	14.214,75	2.136,9
09.00 – 09.59	18.478,47	3.801,9
10.00 – 10.59	33.903,7	2.018,075
11.00 – 11.59	25.447	1.834,9
12.00 – 12.59	22.561,4	1.786,9
13.00 – 13.59	22.920,4	1.786,9
14.00 – 14.59	18.270	1.786,9
15.00 – 15.59	5.033,4	1.786,9
16.00 – 16.59	2.443,4	1.849,4
17.00 – 17.59	2.332,4	1.846,9
18.00 – 18.59	3.245,4	2.770,9
19.00 – 19.59	3.186,4	2.785,9
20.00 – 20.59	3.186,4	2.785,9
21.00 – 21.59	3.581,4	3.180,9
22.00 – 22.59	3.231,4	2.830,9
23.00 – 23.59	3.231,4	2.830,9
Total	215.373,5	59.671,275

Dari data pada tabel 3 dapat kita ketahui bahwa besar pemakaian daya listrik saat hari kerja (5 hari) adalah 0,215 MWh per hari dan saat hari libur (2 hari) adalah sebesar 0,059 MWh.

2.3. Simulasi

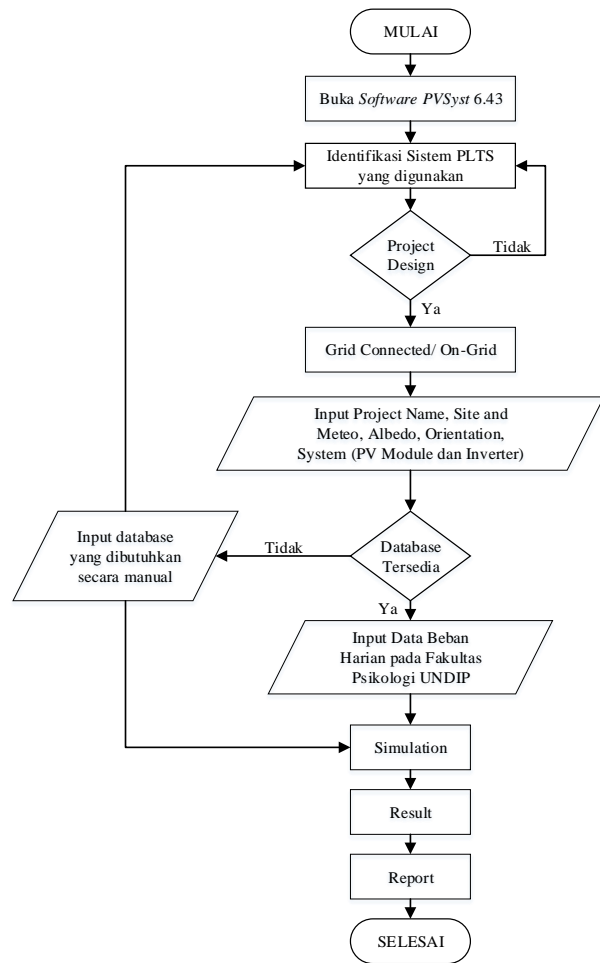
Pemanfaatan energi matahari di sarana parkir sepeda motor dan lahan kosong SMA Negeri 4 yang berlokasi di Kota Semarang, Jawa Tengah menjadi sebuah PLTS memiliki potensi yang cukup besar.[6] Dengan potensi pemanfaatan energi matahari dan penggunaan konsumsi energi listrik yang besar di SMA Negeri 4 Semarang dipilih sebuah sistem yaitu PLTS *OffGrid* yang mengandalkan energi matahari sebagai satu-satunya sumber energi utama dengan menggunakan rangkaian *photovoltaic module* untuk menghasilkan energi listrik sesuai kebutuhan dan mengisi baterai sebagai pemasok daya cadangan atau untuk pemasok daya di malam hari PLTS ini berjenis sistem *OffGrid* guna membantu memenuhi pasokan energi listrik di Indonesia serta mengurangi penggunaan pembangkit listrik dengan bahan bakar fosil dan menggantinya dengan energi baru dan terbarukan.[7].

Perancangan PLTS di sarana parkir sepeda motor dan lahan kosong SMA Negeri 4 Semarang menggunakan *software* PVSyst 6.43 sebagai perangkat lunak utama guna mengolah data yang diperoleh dan identifikasi analisis potensi serta unjuk kerja serta potensi energi yang dibangkitkan dalam sistem PLTS yang dirancang.[8]

PVSyst merupakan paket *software*/ perangkat lunak yang digunakan untuk proses pembelajaran, pengukuran (*sizing*), dan analisa data dari sistem PLTS secara lengkap. PVSyst dikembangkan oleh Universitas Genewa, yang terbagi ke dalam sistem terinterkoneksi jaringan (*grid-connected*), sistem berdiri sendiri (*stand-alone*), sistem pompa (*pumping*), dan jaringan arus searah untuk transportasi publik (*DC-grid*).[9] PVSyst juga dilengkapi *database* dari sumber data meteorologi yang luas dan beragam, serta data komponen-komponen PLTS. Beberapa contoh sumber data meteorologi yang dapat digunakan pada PVSyst yaitu bersumber dari *MeteoNorm V 6.1* (interpolasi 1960-1990 atau 1981-2000), *NASA-SSE* (1983-2005), *PVGIS* (untuk Eropa dan Afrika), *Satel-Light* (untuk Eropa), *TMY2/3* dan *SolarAnywhere* (untuk USA), *EPW* (untuk Kanada), *RetScreen*, *Helioclim*, dan *SolarGIS* (berbayar).[10]

Desain Proyek (*Project Design*) pada *PvSyst* dipilih untuk melakukan desain sistem menyeluruh menggunakan simulasi jam rinci. Dalam kerangka "proyek", pengguna dapat melakukan simulasi sistem yang berbeda, berjalan dan membandingkan mereka[11]. Tingkat Studi ini harus menentukan orientasi *mount system* (dengan kemungkinan *tracking system* atau *fixed tilt plane*), dan untuk memilih komponen sistem tertentu. Pada proyek ini *PVSyst* akan membantu dalam merancang *PV array* (jumlah modul *PV* secara seri dan paralel), diberi pilihan model inverter, baterai atau pompa[12]. Pada tahap kedua, pengguna dapat menentukan parameter yang lebih rinci dan menganalisis efek baik seperti perilaku termal, kabel, kualitas modul, ketidakcocokan dan sudut datang kerugian, *horizon* (jauh *shading*), atau nuansa parsial dekat objek pada *array*, dan sebagainya. Untuk sistem pemompaan, beberapa desain sistem dapat diuji dan dibandingkan satu sama lain, dengan analisis rinci tentang perilaku dan efisiensi. Hasil mencakup beberapa puluhan variabel simulasi, yang dapat ditampilkan dalam nilai-nilai bulanan, harian atau per jam, dan bahkan ditransfer ke perangkat lunak lain. "Rugi Diagram" sangat berguna untuk mengidentifikasi kelemahan dari desain sistem. Sebuah laporan dapat dicetak untuk setiap simulasi dijalankan, termasuk semua parameter yang digunakan untuk simulasi, dan hasil utama[13].

Adapun diagram alir dari pengoperasian *software* PVSyst 6.43 adalah sebagai berikut:



Gambar 4. Diagram Alir Simulasi PVSyst 6.43



Gambar 5. Tampilan Menu Awal *Software* PVSyst 6.43

3. Hasil dan Analisis

3.1. Hasil Simulasi PVSyst 6.43 PLTS SMA Negeri 4 Semarang

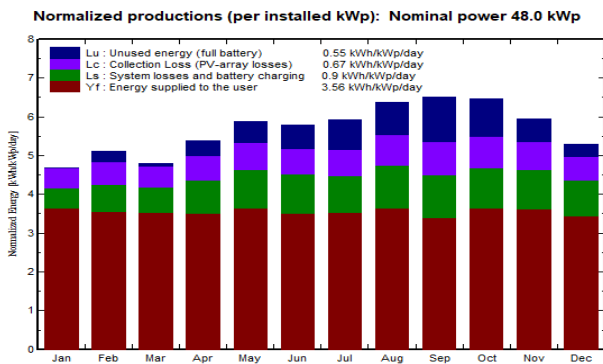
Berdasarkan hasil dari simulasi PVSyst 6.43 tanpa memperhitungkan pengaruh bayangan/ *shading factor*, PLTS SMA Negeri 4 Semarang memiliki potensi optimal untuk menghasilkan energi listrik sebesar 84,533 MWh per

tahunnya. Di mana sistem PLTS memerlukan komponen sebanyak 480 modul surya berkapasitas 100 wp/modul dengan merk INSCOM KMM27100, 84 baterai dengan kapasitas 24v200ah/baterai dengan merk CTS Lifepo4, 1 unit inverter 45kWh dan 5 unit SCC 460A/unit. Panel surya memiliki sudut kemiringan 10° dan azimut 17° menyesuaikan kondisi di lapangan[14]. Adapun hasil simulasi PVSyst 6.43 pada perencanaan PLTS SMA Negeri 4 Semarang dapat dilihat pada tabel 4.

Tabel 4. Potensi Energi Listrik PLTS SMA Negeri 4 Semarang Berdasarkan Simulasi PVSyst 6.43

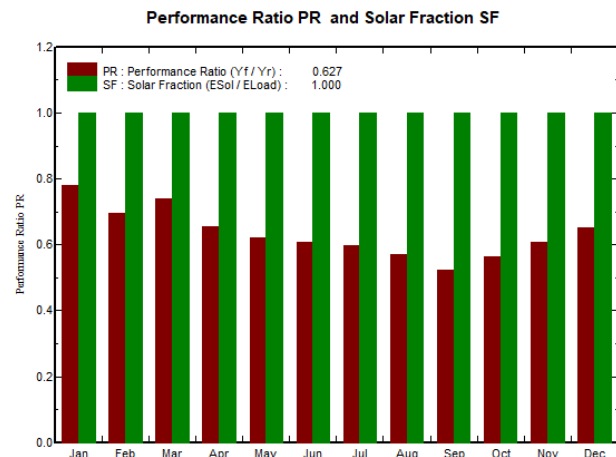
	GlobInc kWh/m ²	GlobEff kWh/m ²	E Avail MWh	E Unused MWh	E Miss MWh	E User MWh	E Load MWh	SolFrac
Januari	145.1	139.5	5.910	0.000	0.000	5.431	5.431	1.000
Februari	143.4	138.1	5.850	0.365	0.000	4.764	4.764	1.000
Maret	148.6	143.6	6.038	0.094	0.000	5.275	5.275	1.000
April	161.2	156.0	6.568	0.533	0.000	5.060	5.060	1.000
Mei	181.9	176.5	7.422	0.765	0.000	5.431	5.431	1.000
Juni	173.7	168.5	7.140	0.862	0.000	5.060	5.060	1.000
Juli	183.7	178.2	7.542	1.113	0.000	5.275	5.275	1.000
Agustus	197.9	192.2	8.041	1.243	0.000	5.431	5.431	1.000
September	195.5	190.1	7.890	1.652	0.000	4.904	4.904	1.000
Oktober	200.6	194.5	8.133	1.443	0.000	5.431	5.431	1.000
November	178.6	172.8	7.246	0.843	0.000	5.215	5.215	1.000
Desember	164.0	157.9	6.709	0.459	0.000	5.119	5.119	1.000
Year	2074.2	2008.0	84.489	9.371	0.000	62.414	62.414	1.000

Berdasarkan tabel 4 energi listrik yang dihasilkan PLTS SMA Negeri 4 Semarang adalah sebesar 84,533 MWh per tahun sebelum dikonversi menjadi listrik AC oleh inverter[15]. Setelah melalui proses konversi energi listrik dan pembalikan arus, energi listrik yang dihasilkan berkurang menjadi 75,556 MWh per tahun dengan pembagian 62,414 MWh untuk suplai beban SMA Negeri 4 Semarang dan 12,112 MWh sisanya dikirimkan kepada baterai. Untuk kapasitas maksimal produksi dari PLTS ini adalah sebesar 48 kWp.



Gambar 6. Grafik produksi listrik oleh PLTS dalam kondisi normal

Berdasarkan gambar 6 energi listrik yang dihasilkan Pembangkit Listrik Tenaga Surya SMA Negeri 4 Semarang memiliki hasil produksi energi listrik yang beragam dan fluktuatif di tiap bulannya[16]. Dengan produksi energi listrik terbesar pada bulan September dan Oktober saat musim kemarau dan terendah pada bulan maret saat musim penghujan.



Gambar 7. Grafik rasio kinerja PLTS SMA Negeri 4 Semarang

Performance Ratio atau rasio kinerja dari sistem Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) SMA Negeri 4 Semarang adalah rasio atau tingkat perbandingan antara hasil aktual (output inverter) dan hasil target (output array PV)[17]. Berdasarkan gambar 7 dapat dilihat bahwa sistem Pembangkit Listrik Tenaga Surya SMA Negeri 4 Semarang memiliki tingkat rasio kinerja yang cukup baik yaitu sebesar 62,7%.

3.2. Analisis Produksi Energi Listrik PLTS SMA Negeri 4 Semarang

Berdasarkan hasil simulasi perancangan Pembangkit Listrik Tenaga Surya SMA Negeri 4 Semarang dengan software PVSyst 6.43 didapatkan hasil produksi energi listrik tiap bulannya. Jumlah energi listrik yang dihasilkan oleh Pembangkit Listrik Tenaga Surya SMA Negeri 4 Semarang dipengaruhi faktor seperti intensitas radiasi dan temperatur, sesuai dengan parameter yang terdapat pada Geographical Site Parameters di database PVSyst 6.43.

3.2.1. Intensitas Radiasi Matahari

Intensitas radiasi matahari merupakan banyaknya energi yang diterima bumi per satuan luas per satuan waktu yang nilainya berubah bergantung pada beberapa faktor, seperti letak astronomis (garis lintang) lokasi, gerak semu harian dan tahunan matahari, serta keadaan atmosfer bumi. Tingkat intensitas radiasi matahari atau yang disebut sebagai iradiasi matahari merupakan parameter penting dan utama dalam menentukan potensi perencanaan PLTS beserta sistem dan komponen pendukung yang digunakan. Hal ini dikarenakan prinsip kerja panel surya yang mengkonversi energi matahari dari intensitas radiasinya menjadi energi listrik searah (DC)[18]. Nilai energi listrik yang dihasilkan bergantung kepada intensitas radiasi matahari yang diterima sel surya.

Pada tabel 5 intensitas radiasi matahari tertinggi pada bulan Oktober dan energi listrik terbesar bulan Oktober. Hal ini dikarenakan bulan Oktober merupakan puncak musim kemarau di mana pada umumnya langit terdapat lebih sedikit awan dibandingkan musim hujan dan intensitas radiasi matahari yang dipancarkan ke bumi lebih banyak yang sampai ke permukaan bumi.[19].

Tabel 5. Hubungan intensitas radiasi dan produksi energi PLTS

BULAN	Intensitas Radiasi Matahari (kWh/m ² /hari)	Produksi Energi Listrik (MWh)
Januari	139.5	5.913
Februari	138.1	5.853
Maret	143.6	6.040
April	156.0	6.571
Mei	176.5	7.426
Juni	168.5	7.144
Juli	178.2	7.547
Agustus	192.2	8.045
September	190.1	7.894
Oktober	194.5	8.136
November	172.8	7.250
Desember	157.9	6.713
Rata-Rata	164	7.234

Berdasarkan tabel 5 serta gambar 8 dapat dilihat bahwa produksi energi listrik terbesar adalah bulan Oktober yang mencapai 8,136 MWh dan pada saat itu intensitas radiasi matahari berada dalam nilai tertinggi pula, yaitu 194,5 kWh/m²/hari. Sehingga dapat disimpulkan bahwa semakin besar intensitas radiasi matahari yang diterima maka akan semakin besar pula energi listrik yang dihasilkan oleh panel surya.

3.2.2. Temperatur

Temperatur wilayah mempengaruhi pengoperasian maksimum daya panel surya. Idealnya panel surya beroperasi pada suhu 25°C. Adanya kenaikan temperatur sebesar 1°C (dari 25°C) mengakibatkan total daya yang dihasilkan panel surya berkurang hingga 0,5%. Hal ini menunjukkan bahwa temperatur adalah salah satu faktor yang harus diperhatikan dalam memperhitungkan kapasitas daya (Wp) PLTS yang akan dibangkitkan. Hubungan antara temperatur rata-rata dengan energi listrik yang dihasilkan ditampilkan dalam tabel 6 dan gambar 9.

Dari tabel 6 diperoleh perbandingan per bulan antara temperatur dengan produksi energi listrik dapat dilihat bahwa produksi energi listrik terbesar adalah bulan Oktober yang mencapai 8,136 MWh saat temperatur berada dalam nilai relatif tinggi, yaitu 29,00 °C.

Namun dari hasil yang ada didapatkan nilai energi listrik dan temperatur yang fluktuatif, hal ini terjadi karena energi listrik yang dihasilkan lebih bergantung terhadap intensitas radiasi matahari yang merupakan parameter utama dalam

produksi energi listrik oleh sel surya. Nilai temperatur tidak banyak berubah atau dapat dikatakan rentang perubahannya kecil (2,6 °C).

Tabel 6. Hubungan temperatur dan produksi energi PLTS

BULAN	Temperatur	Produksi Energi Listrik
	(°C)	(MWh)
Januari	27,90	5.913
Februari	27,90	5.853
Maret	27,80	6.040
April	28,70	6.571
Mei	29,00	7.426
Juni	28,50	7.144
Juli	28,40	7.547
Agustus	28,20	8.045
September	28,80	7.894
Oktober	28,80	8.136
November	29,00	7.250
Desember	28,40	6.713
Rata-Rata	28,40	7.234

3.2.3. Gas Emisi CO2

Dengan menggunakan PLTS yang merupakan salah satu pembangkit yang ramah terhadap lingkungan dapat mengurangi dampak yang timbul dari gas buang karbon dioksida (CO₂) ke udara akibat pengurangan pemakaian pembangkit listrik berbahan bakar fosil. Pada penelitian ini diusulkan penggunaan PLTS untuk menggantikan peran dari pembangkit listrik berbahan bakar fosil dalam menyuplai beban listrik agar dapat mengurangi emisi gas CO₂. Jika SMA Negeri 4 Semarang menggunakan pembangkit dengan berbahan bakar fosil maka :

$$eCO_2 = \text{Produksi energi} \times ef$$

$$eCO_2 = 215,373 \text{ kWh} \times 0,743 \text{ CO}_2/\text{kWh}$$

$$= 160 \text{ Kg/hari}$$

Selama sebulan maka gas emisi CO₂ nya adalah :

$$eCO_2 = 160 \times 30 = 4800 \text{ Kg/bulan}$$

Selama 1 Tahun :

$$eCO_2 = 4800 \times 12 = 57.600 \text{ Kg/tahun}$$

Selama 25 Tahun (d disesuaikan dengan masa umur panel surya) :

$$eCO_2 = 57.600 \times 25 = 1.440.000 \text{ Kg/25 tahun}$$

Namun jika SMA Negeri 4 Semarang menggunakan PLTS *OffGrid* maka :

$$eCO_2 = \text{Produksi energi} \times ef$$

$$eCO_2 = 215,373 \text{ kWh} \times 0$$

$$= 0 \text{ Kg/hari}$$

Dari perhitungan diatas membuktikan bahwa PLTS *OffGrid* sangat ramah lingkungan yang mana dapat mengurangi gas emisi CO₂ yang seharusnya 1.440.000 Kg/25 tahun menjadi 0 Kg/25 tahun. Sehingga PLTS *OffGrid* ini mengurangi gas emisi CO₂ sebanyak 1.440 ton dalam 25 tahun

4. Kesimpulan

Berdasarkan penelitian tugas akhir berjudul analisis potensi dan unjuk kerja perencanaan Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) di SMA Negeri 4 Semarang menggunakan *software* PVSyst 6.43, dapat disimpulkan bahwa sistem PLTS yang dirancang pada perencanaan PLTS SMA Negeri 4 Semarang adalah sebuah sistem yang berdiri sendiri (*OffGrid*).

Dalam perancangan sistem menggunakan modul sebanyak 480 buah yang terbagi menjadi 324 panel di area parkir sepeda motor dan 156 di area *lahan kosong*. Untuk sudut kemiringan panel surya adalah 10° dengan sudut azimut 17° dengan penyangga berjenis *fixed tilt*.

Komponen yang digunakan adalah 480 buah panel surya berkapasitas 100 wp/modul dengan merk INSCOM KMM27100, 84 baterai dengan kapasitas 24v200ah/baterai dengan merk CTS Lifepo4, 1 unit inverter 45kWh dan 5 unit SCC 460A/unit.

Besar energi listrik yang dihasilkan PLTS adalah sebesar 84,533 MWh/tahun, setelah melalui proses konversi energi dan pembalikan arus menjadi 75,46 MWh. Dengan pembagian 62,414 MWh daya digunakan guna keperluan penggunaan listrik sendiri di SMA Negeri 4 Semarang dan sebesar 12,116 MWh daya listrik disalurkan ke Baterai tiap tahunnya.

Besarnya rasio unjuk kerja (*performance ratio*) per tahun berdasarkan simulasi PVSyst 6.43 adalah sebesar 62,7% dengan nominal daya keluaran maksimal PLTS sebesar 48 kWp dan pada saat kondisi STC sebesar 47,3 kW.

Penulis menyarankan untuk penambahan pembahasan tentang analisis unjuk kerja PLTS yang disebabkan oleh pengaruh faktor bayangan (*shading factor*) yang menyebabkan daya keluaran modul surya menjadi berkurang dari nominal seharusnya.

Referensi

- [1] Kementerian ESDM Republik Indonesia, Rencana Strategis Direktorat Jenderal Ketenagalistrikan 2015-2019. 2015.
- [2] Earthscan, *Planning and Installing Photovoltaic Systems: A guide for installers, architects and engineers - second edition*. 2008.
- [3] NASA. Prediction of Worldwide Energy Resource (POWER) Higher Resolution Daily Time Series Climatology Resource for SSE-Renewable Energy.” [Online]. Tersedia: <https://power.larc.nasa.gov/data-access-viewer/>. [Diakses: 08 Februari 2020].
- [4] W. Omran, “Performance Analysis of Grid-Connected Photovoltaic Systems”, Ph.D thesis, University of Waterloo at Ontario, 2010.
- [5] Duffie, John A. and William A. Beckman, *Solar Engineering of Thermal Processes, 3th*, Jon Wiley & Sons Inc, New Jersey, 2006.
- [6] D. L. Pangestuningtyas, Hermawan, dan Karnoto, “Analisis Pengaruh Sudut Kemiringan Panel Surya Terhadap Radiasi Matahari Yang Diterima Oleh Panel Surya Tipe Larik Tetap,” Universitas Diponegoro, 2013.
- [7] W.Nugroho, A. Nugroho, dan B. Winardi, “Analisis Potensi Dan Unjuk Kerja Perencanaan Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) Di Fakultas Psikologi Universitas Diponegoro Menggunakan Software PVSyst 6.43,” Universitas Diponegoro, 2020.
- [8] B. Ramadhani, *Instalasi Pembangkit Listrik Tenaga Surya Dos & Don'ts*. 2018.
- [9] ABB, *Technical Application Papers NO.10 Photovoltaic Plants*, Bergamo Italy, 2008.
- [10] International Finance Corporation (IFC), *Utility-Scale Solar Photovoltaic Power Plants*. India, 2012.
- [11] M. Sengupta et al., *Best Practices Handbook for the Collection and Use of Solar Resource Data for Solar Energy Applications*, no. NREL/TP-5D00-63112. 2015.
- [12] RETScreen International, *Clean Energy Project Analysis: RETScreen Engineering & Cases Textbook*, no. 3. Canada, 2005.
- [13] E. P. D. Hattu, J. A. Wabang, dan A. Palinggi, “Pengaruh Bayangan terhadap Output Tegangan dan Kuat Arus pada Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS),” Politeknik Negeri Kupang, 2018.
- [14] Nadia Al-Rousan, Nor Ashidi Mat Isa, and Mohd Kharirunaz M.D “Advances in Solar Photovoltaic Tracking Systems: A review,” Universiti Sains Malaysia, 2018.
- [15] R. Banerjee, “Solar Tracking System,” Guru Nanak Institute of Technology, 2015.
- [16] G. H. Susilo dan B. Winardi, “Diesel Dan Energi Terbarukan Di Pulau Enggano , Bengkulu,” Universitas Diponegoro, 2014.
- [17] E. Setyani, B. Winardi, dan Karnoto, “Analisis Potensi dan Unjuk Kerja Perencanaan PLTS On Grid System di GOR Jatidiri Semarang Menggunakan Software PVSyst 6.43,” Universitas Diponegoro, 2019.
- [18] Direktur Jenderal Energi Baru, Terbarukan dan Konservasi Energi, “Panduan Studi Kelayakan Pembangkit Listrik Tenaga Surya Terpusat”, Tetra Tech ES, Inc, Jakarta Selatan, 2018
- [19] Randy Marcellino, (2017), “Perancangan Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) Terpusat Off-Grid System Untuk Pedesaan Terpencil”, UNSKA Riau