

ANALISIS POTENSI DAN UNJUK KERJA PERENCANAAN PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA SURYA DI GEDUNG FAKULTAS PSIKOLOGI UNIVERSITAS DIPONEGORO

Widiyanto Nugroho¹⁾, Agung Nugroho dan Bambang Winardi

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

^{*)}E-mail: widiyanto.ng@gmail.com

Abstrak

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. Menurut Power Data Acces Viewer NASA pada tahun 2019 Indonesia mempunyai tingkat radiasi rata-rata yang relatif tinggi yaitu sebesar 5,5 kWh/m²/hari. Hal ini adalah sebuah keuntungan besar bagi Indonesia dalam hal pemanfaatan energi matahari menjadi energi listrik melalui Fotovoltaik. Fakultas Psikologi Universitas Diponegoro memiliki gedung yang mengusung konsep *Undip First Bioclimatic and Biophilic Green Building*. Gedung ini memiliki sebuah sarana parkir sepeda motor dan sebuah rooftop terbuka yang belum teroptimalkan dengan baik. Dengan intensitas radiasi matahari yang cukup tinggi tiap harinya, gedung ini dapat memanfaatkan rooftop dan sarana parkir sepeda motornya menjadi siteplan PLTS yang cukup besar. PLTS On Grid merupakan sistem PLTS yang terintegrasi dengan jaringan jala-jala PLN, di mana PLN sebagai pemasok energi utama dan PLTS sebagai pemasok energi tambahan. Melalui software PVSyst 6.43, potensi dan kinerja dari perencanaan PLTS di Fakultas Psikologi Universitas Diponegoro ini diperkirakan memiliki potensi 387,7 MWh tiap tahunnya. Setelah melalui proses konversi energi listrik berkurang menjadi 374,11 MWh dengan pembagian 260,05 MWh digunakan untuk mensuplai beban dan 114,06 MWh dikirim ke jaringan jala-jala listrik PLN (Grid).

Kata kunci : Fotovoltaik, PLTS, On Grid, PVSyst 6.43

Abstract

Indonesia is a country geographically located in equator which has a great potential in terms of solar energy utilization. This is because the magnitude of solar radiation is influenced by the location of latitude, atmospheric conditions, and the position of the sun against the equator. According to Power Data Acces Viewer NASA in 2019 Indonesia has a relatively high radiation rate of 5.5 kWh/m²/day. This is a big advantage for Indonesia in terms of the utilization of solar energy into electrical energy through Photovoltaics. Faculty of Psychology on Diponegoro University has a building that carries the concept of Undip First Bioclimatic and Biophilic Green Building. The building has a motorcycle parking facility and a rooftop that hasn't been well optimized. With a high level of solar radiation every day, the building located can take advantage of the rooftop and motorcycle parking facilities become a large PLTS siteplan. PLTS On Grid is a PLTS system integrated with the PLN grid, where PLN is the primary energy supplier and PLTS as an additional energy supplier. Through software PVSyst 6.43, the potential and performance of the planning of PLTS in the Faculty of Psychology Diponegoro University is expected to have a potential of 387.7 MWh annually. After going through the process of converting electrical energy reduced to 374.11 MWh which divided into 260.05 MWh used to supply the load and 114.06 MWh delivered to the network of PLN Grid.

Keywords : Photovoltaic, PLTS, On 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. Universitas Diponegoro memiliki tujuh buah kampus yang tersebar diberagam daerah di Jawa Tengah sebagai sarana perkuliahan. Salah satunya adalah kampus utama yang terletak di Jalan Prof. Soedarto, S.H. Kampus UNDIP Tembalang ini merupakan pusat dari segala aktivitas civitas akademika Universitas Diponegoro yang terdiri dari 11 fakultas dan 1 sekolah vokasi dengan luas total lahan $1.352.054 \text{ m}^2$ [18].



Gambar 1. Sarana parkir sepeda motor Fakultas Psikologi Universitas Diponegoro.

Secara astronomis Fakultas Psikologi Universitas Diponegoro terletak pada 7.0475° LS dan 110.4386° BT. Sebagai fakultas yang menggunakan gedung baru per Januari 2019, gedung tersebut memiliki beragam fasilitas pendukung perkuliahan diantaranya adalah gedung kuliah dan administrasi, laboratorium, perpustakaan, sarana olahraga, sarana parkir kendaraan bermotor, *rooftop*, musholla, dll. Gedung ini dibangun dengan konsep awal “*Undip’s First Bioclimatic and Biophilic Green Building*” yang ramah lingkungan dan mendukung kesadaran tentang perubahan iklim. Sarana parkir sepeda motor Fakultas

Psikologi Universitas Diponegoro berbentuk lahan parkir terbuka dengan luas lahan sebesar 1.014 m^2 . Area potensial lainnya adalah *rooftop* yang terletak di bagian paling atas gedung memiliki luas 963 m^2 .

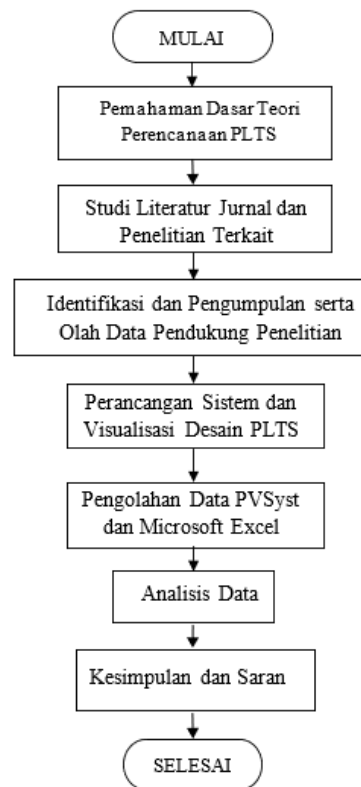


Gambar 2. *Rooftop* gedung Fakultas Psikologi Universitas Diponegoro.

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 *rooftop* di Fakultas Psikologi Universitas Diponegoro sebagai catu daya beban listrik harian yang terhubung dengan jala-jala PLN (*On Grid*) sebagai sumber energi listrik 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 Gedung Fakultas Psikologi Universitas Diponegoro” 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	4,60
Februari	5,29
Maret	4,55
April	5,08
Mei	5,41
Juni	5,14
Juli	5,38
Agustus	5,94
September	6,49
Oktober	6,54
November	6,14
Desember	5,50
Rata-Rata	5,50

Tabel 2. Data Temperatur Kota Semarang pada tahun 2019

BULAN	Temperatur Rata-rata (°C)
Januari	25,28
Februari	25,18
Maret	25,03
April	25,72
Mei	25,16
Juni	24,21
Juli	24,34
Agustus	25,19
September	26,35
Oktober	27,51
November	27,66
Desember	26,38
Rata-Rata	25,66

Data pada tabel 1 dan tabel 2 adalah dua parameter meteorologi yang diperlukan dalam simulasi. Selain 2 data tersebut, terdapat data lama penyinaran untuk mengetahui pengaruh lama penyinaran terhadap produksi energi listrik PLTS. Data lama penyinaran ini diperoleh dari Badan Meteorologi Klimatologi dan Geofisika, Stasiun Klimatologi Semarang.

Tabel 3. Data Lama Penyinaran Matahari Kota Semarang pada tahun 2019

BULAN	Lama Penyinaran Matahari (Jam)
Januari	4,58
Februari	4,85
Maret	6,04
April	6,95
Mei	8,49
Juni	8,69
Juli	9,33
Agustus	9,69
September	9,78
Oktober	9,91
November	8,03
Desember	6,11
Rata-rata	7,70

Selain itu pengambilan data guna menunjang Tugas Akhir ini diperoleh juga melalui pengukuran perkiraan penggunaan beban harian di Fakultas Psikologi Universitas Diponegoro. 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 gedung Fakultas Psikologi UNDIP

Waktu (WIB)	Beban (W)	
	Hari kerja	Hari libur
00.00 – 00.59	6237	4943
01.00 – 01.59	6237	6173
02.00 – 02.59	6237	6173
03.00 – 03.59	6237	6173
04.00 – 04.59	6237	6173
05.00 – 05.59	6237	6173
06.00 – 06.59	19677	4859
07.00 – 07.59	43359	4859
08.00 – 08.59	118916	4983
09.00 – 09.59	141178	4983
10.00 – 10.59	145804,5	33307
11.00 – 11.59	186152	6507
12.00 – 12.59	125074	6552
13.00 – 13.59	134633	8224
14.00 – 14.59	185823,5	16197
15.00 – 15.59	136953,5	14514
16.00 – 16.59	127885	41314
17.00 – 17.59	116065	17108
18.00 – 18.59	101863	18748
19.00 – 19.59	67052	18508
20.00 – 20.59	44085	8700
21.00 – 21.59	11777	8700
22.00 – 22.59	6921	7070
23.00 – 23.59	6237	6158
Total	1756877,5	267099

Dari data pada tabel 3 dapat kita ketahui bahwa besar pemakaian daya listrik saat hari kerja (5 hari) adalah 1,757 MWh per hari dan saat hari libur (2 hari) adalah sebesar 0,267 MWh.

2.3. Pemilihan Spesifikasi Komponen

2.3.1. Panel Surya

Dalam menentukan spesifikasi panel surya, produksi listrik terbesar (kWp) harus melebihi besarnya beban puncak (Wh). Beban puncak harian di Fakultas Psikologi Universitas Diponegoro adalah sebesar 185,82 kW. Pada perancangan ini menargetkan produksi listrik terbesar mencapai 110 - 120% dari beban puncak. Dengan menggunakan panel surya 320 Wp, maka diperoleh jumlah panel surya menggunakan persamaan:

$$P_s = P_{total} / P_{max}$$

$$P_s = 234.000 / 320 = 730 \text{ buah.}$$

Jadi dalam perencanaan ini akan menggunakan panel surya 320 Wp sebanyak 730 buah. Karena maksimal produksi energi adalah 233,6 kWp maka produksi saat kondisi normal (STC) akan berada di range 185,82 – 233,6 kW.

Panel surya Kenika NPS 320W memiliki dimensi 990 x 1940 x 45 mm, maka luas panel tersebut adalah:

$$L = \text{Panjang} \times \text{Lebar}$$

$$L = 1940 \text{ mm} \times 990 \text{ mm}$$

$$L = 1.920.600 \text{ m}^2$$

$$L = 1,92 \text{ m}^2$$

Dengan mengalikan luas panel dengan jumlah panel, maka diperoleh luas siteplan sebagai berikut:

$$L_s = \text{Luas panel} \times \text{jumlah panel}$$

$$L_s = 1,92 \text{ m}^2 \times 730$$

$$L_s = 1.401,6 \text{ m}^2$$

Jadi pada perencanaan ini akan menggunakan siteplan dengan luas lahan 1.401,6 m² atau 70,8 % dari total luas lahan tersedia yaitu 1977 m². Panel surya sendiri menggunakan jenis penyangga tetap (fixed tilted plane) dengan sudut kemiringan 9° (paling optimal untuk jenis penyangga tetap di kota Semarang) dengan sudut azimut 17° menyesuaikan kondisi lapangan.

2.3.2. Inverter

Dalam menentukan spesifikasi Inverter yang dipasang nantinya, perlu memperhatikan bahwa daya inverter harus mampu melayani beban pada kondisi daya rata-rata, tipikal dan surja. Untuk alasan keandalan dan masa pakai yang lama, kapasitas inverter harus melebihi 1,2 - 1,3 x beban puncak. Untuk itu pada sistem PLTS Fakultas Psikologi UNDIP ini akan menggunakan inverter dengan kapasitas total 200 kW, nilai ini lebih besar dari beban puncak senilai 185,82 kW. Inverter yang akan digunakan dalam perancangan sistem PLTS ini adalah jenis Grid Tie Inverter dengan merk Princeton Power System tipe GTIB-100-G1.2.

Tabel 5. Komponen PLTS

Komponen	Merk	Kapasitas	Jumlah
Panel Surya	Kenika NPS320W	320 Wp	730
Inverter	Princeton Power System tipe GTIB-100-G1.2	100 kW	2

2.4. Simulasi

Pemanfaatan energi matahari di sarana parkir sepeda motor dan rooftop Fakultas Psikologi Universitas Diponegoro Universitas Diponegoro yang berlokasi di Kota Semarang,

Jawa Tengah menjadi sebuah PLTS memiliki potensi yang cukup besar. Dengan potensi pemanfaatan energi matahari dan penggunaan konsumsi energi listrik yang besar di Fakultas Psikologi Universitas Diponegoro, dipilih sebuah sistem yaitu PLTS *OnGrid*, di mana sumber energi listrik yang digunakan guna mencukupi kebutuhan energi listrik Fakultas Psikologi Universitas Diponegoro tidak hanya dicatu oleh PLTS saja, namun oleh jala-jala PLN.

Hal ini dikarenakan catu daya yang diberikan oleh PLTS masih belum mencukupi perkiraan penggunaan beban harian di Fakultas Psikologi Universitas Diponegoro, sehingga dibutuhkan sumber catu daya lain yang dapat memenuhi kebutuhan beban harian tersebut.

PLTS ini berjenis sistem *OnGrid* dikarenakan saat kondisi akhir pekan penggunaan beban harian sangat rendah akibat proses perkuliahan dan belajar mengajar yang libur, sementara daya yang dapat dicatu PLTS tetap maka sistem akan mengalirkan energi listrik menuju jaringan atau jala-jala PLN (*Grid*) guna membantu memenuhi pasokan energi listrik di Indonesia serta mengurangi penggunaan pembangkit listrik dengan bahan bakar fosil dan menggantinya dengan energi baru dan terbarukan.

Perancangan PLTS di sarana parkir sepeda motor dan rooftop Fakultas Psikologi Universitas Diponegoro 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.

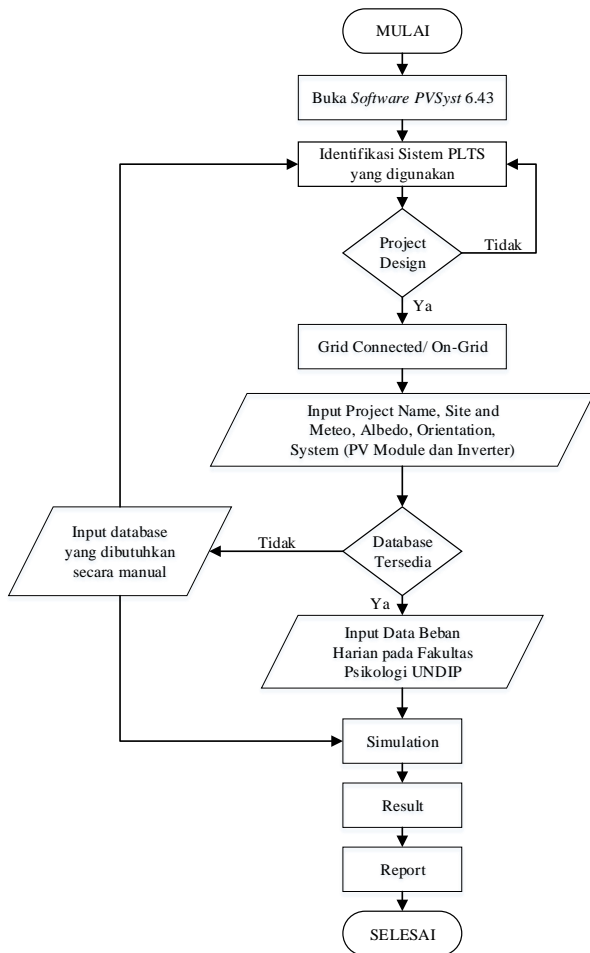


Gambar 4. Tampilan Menu Awal Software PVsyst 6.43

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*).

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).

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



Gambar 5. Diagram Alir Simulasi PVSyst 6.43

3. Hasil dan Analisis

3.1. Hasil Simulasi PVSyst 6.43 PLTS Fakultas Psikologi Universitas Diponegoro

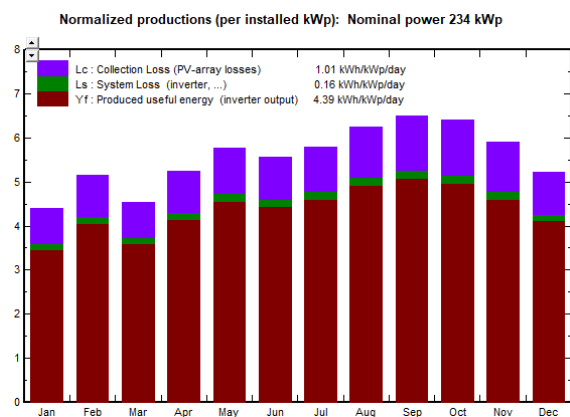
Berdasarkan hasil dari simulasi PVSyst 6.43 tanpa memperhitungkan pengaruh bayangan/ *shading factor*, PLTS Fakultas Psikologi Universitas Diponegoro memiliki potensi optimal untuk menghasilkan energi listrik sebesar 387,77 MWh per tahunnya. Di mana sistem PLTS

memerlukan komponen sebanyak 730 buah panel surya Kenika NPS320W dan 2 buah Princeton Power System tipe GTIB-100-G1.2. Panel surya memiliki sudut kemiringan 9° dan azimuth 17° menyesuaikan kondisi di lapangan. Adapun hasil simulasi PVSyst 6.43 pada perencanaan PLTS Fakultas Psikologi Universitas Diponegoro dapat dilihat pada tabel 4 di bawah ini:

Tabel 4. Potensi Energi Listrik PLTS Fakultas Psikologi Universitas Diponegoro Berdasarkan Simulasi PVSyst 6.43

	GlobHor kWh/m ²	T Amb °C	GlobInc kWh/m ²	GlobEff kWh/m ²	EArray MWh	E Load MWh	E User MWh	E_Grid MWh
January	142.7	25.30	136.3	131.2	26.14	42.56	18.93	6.22
February	148.1	25.20	144.0	139.0	27.55	37.29	17.00	9.55
March	141.1	24.00	140.7	135.8	27.13	41.07	17.92	8.20
April	152.5	25.70	157.2	152.0	30.14	39.31	19.89	9.19
May	167.4	25.20	178.6	173.2	34.28	42.56	23.50	9.60
June	154.2	24.20	167.2	162.0	32.32	39.31	22.50	8.71
July	166.7	24.30	179.6	174.1	34.60	41.07	23.64	9.77
August	183.8	25.20	193.5	187.8	36.96	42.56	26.06	9.63
September	192.0	26.30	195.3	189.7	36.88	37.82	22.20	13.42
October	201.5	27.50	198.4	192.4	37.31	42.56	25.20	10.81
November	184.2	27.70	176.9	170.9	33.51	40.80	23.34	9.01
December	170.5	26.39	162.0	156.1	30.95	39.58	19.87	9.96
Year	2004.7	25.58	2029.7	1964.2	387.77	486.48	260.05	114.06

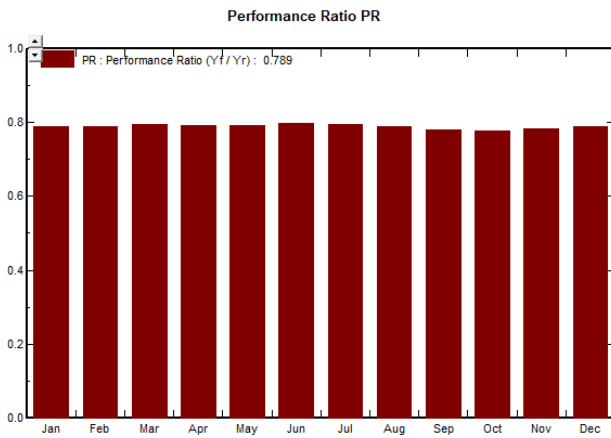
Berdasarkan tabel 4 energi listrik yang dihasilkan PLTS Fakultas Psikologi UNDIP adalah sebesar 387,77 MWh per tahun sebelum dikonversi menjadi listrik AC oleh inverter. Setelah melalui proses konversi energi listrik dan pembalikan arus, energi listrik yang dihasilkan berkurang menjadi 374,11 MWh per tahun dengan pembagian 260,05 MWh untuk suplai beban Fakultas Psikologi UNDIP dan 114,06 MWh sisanya dikirimkan kepada sistem jala-jala PLN (*Grid*). Untuk kapasitas maksimal produksi dari PLTS ini adalah sebesar 234 kWp.



Gambar 6. Grafik produksi listrik oleh PLTS dalam kondisi normal

Berdasarkan gambar 6 energi listrik yang dihasilkan Pembangkit Listrik Tenaga Surya Fakultas Psikologi Universitas Diponegoro memiliki hasil produksi energi listrik yang beragam dan fluktuatif di tiap bulannya. Dengan produksi energi listrik terbesar pada bulan

September dan Oktober saat musim kemarau dan terendah pada bulan Januari saat musim penghujan.



Gambar 7. Grafik rasio kinerja PLTS Fakultas Psikologi Universitas Diponegoro

Performance Ratio atau rasio kinerja dari sistem Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) Fakultas Psikologi Universitas Diponegoro adalah rasio atau tingkat perbandingan energi listrik yang diproduksi secara efektif (digunakan) dengan energi listrik yang akan dihasilkan jika sistem terus bekerja dalam kondisi standar (STC). Berdasarkan gambar 4.26 dapat dilihat bahwa sistem Pembangkit Listrik Tenaga Surya Fakultas Psikologi Universitas Diponegoro memiliki tingkat rasio kinerja yang cukup baik yaitu sebesar 78,9%.

3.2. Analisis Produksi Energi Listrik PLTS Fakultas Psikologi Universitas Diponegoro

Berdasarkan hasil simulasi perancangan Pembangkit Listrik Tenaga Surya Fakultas Psikologi UNDIP dengan software PVSyst 6.43 didapatkan hasil produksi energi listrik tiap bulannya. Jumlah energi listrik yang dihasilkan oleh Pembangkit Listrik Tenaga Surya Fakultas Psikologi UNDIP 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

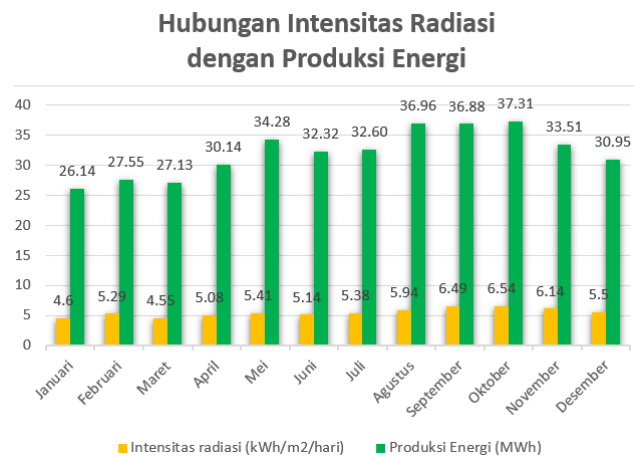
menjadi energi listrik searah (DC). Nilai energi listrik yang dihasilkan bergantung kepada intensitas radiasi matahari yang diterima sel surya.

Pada tabel 6 intensitas radiasi matahari tertinggi pada bulan Januari 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.

Tabel 6. Hubungan intensitas radiasi dan produksi energi PLTS

BULAN	Intensitas Radiasi Matahari (kWh/m ² /hari)	Produksi Energi Listrik (MWh)
Januari	4,60	26,14
Februari	5,29	27,55
Maret	4,55	27,13
April	5,08	30,14
Mei	5,41	34,28
Juni	5,14	32,32
Juli	5,38	32,60
Agustus	5,94	36,96
September	6,49	36,88
Oktober	6,54	37,31
November	6,14	33,51
Desember	5,50	30,95
Rata-Rata	5,50	32,14

Dari tabel di atas diperoleh grafik perbandingan per bulan antara intensitas radiasi dengan produksi energi listrik sebagai berikut:



Gambar 8. Grafik hubungan intensitas radiasi matahari dengan produksi energi

Berdasarkan tabel 6 serta gambar 8 dapat dilihat bahwa produksi energi listrik terbesar adalah bulan Oktober yang mencapai 37,31 MWh dan pada saat itu intensitas radiasi matahari berada dalam nilai tertinggi pula, yaitu 6,54 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.

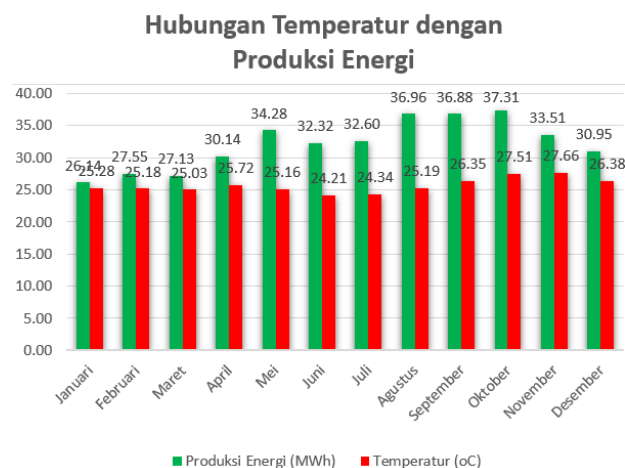
3.2.2. Temperatur

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 7 dan gambar 9.

Tabel 7. Hubungan temperatur dan produksi energi PLTS

BULAN	Temperatur (°C)	Produksi Energi Listrik (MWh)
Januari	25,28	26,14
Februari	25,18	27,55
Maret	25,03	27,13
April	25,72	30,14
Mei	25,16	34,28
Juni	24,21	32,32
Juli	24,34	32,60
Agustus	25,19	36,96
September	26,35	36,88
Oktober	27,51	37,31
November	27,66	33,51
Desember	26,38	30,95
Rata-Rata	25,66	32,14

Dari tabel di atas diperoleh grafik perbandingan per bulan antara intensitas radiasi dengan produksi energi listrik sebagai berikut:



Gambar 9. Grafik hubungan temperatur dengan produksi energi

Dari tabel 7 dan gambar 9 di atas diperoleh grafik perbandingan per bulan antara temperatur dengan produksi energi listrik dapat dilihat bahwa produksi energi listrik

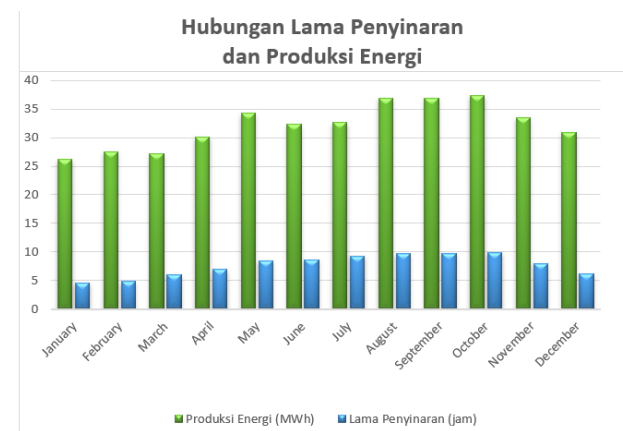
terbesar adalah bulan Oktober yang mencapai 37,31 MWh saat temperatur berada dalam nilai relatif tinggi, yaitu 27,51 °C. Namun dari hasil yang ada didapatkan nilai energi listrik dan temperatur yang fluktuatif, hal ini terjadi karena energi listrik yang dihasilkan lebih bergantung terhadap intensitas 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).

3.2.3 Lama Penyinaran

Lama penyinaran mempengaruhi produksi energi panel surya, karena saat insolasi matahari pendek berarti lebih sedikit radiasi matahari yang diterima dalam satu harinya, begitu pula sebaliknya. Panjang pendeknya lama penyinaran memiliki korelasi dengan keadaan atmosfer (hujan/cerah) dan banyaknya iradiasi yang bisa diterima. Produksi energi listrik saat terjadi hari di mana insolasi pendek tentu berbeda dengan saat insolasi panjang. Data terkait lama penyinaran dan besaran produksi energi listrik pada PLTS Fakultas Psikologi UNDIP bisa dilihat pada tabel 7.

Tabel 7. Hubungan lama penyinaran dan produksi energi PLTS

BULAN	Lama Penyinaran (jam)	Produksi Energi Listrik (MWh)
Januari	4,58	26,14
Februari	4,85	27,55
Maret	6,04	27,13
April	6,95	30,14
Mei	8,49	34,28
Juni	8,69	32,32
Juli	9,33	32,60
Agustus	9,69	36,96
September	9,78	36,88
Oktober	9,91	37,31
November	8,03	33,51
Desember	6,11	30,95
Rata-Rata	7,70	32,14



Gambar 10. Grafik hubungan lama penyinaran dengan produksi energi

Berdasarkan tabel 8 serta gambar 10 dapat dilihat bahwa produksi energi listrik terbesar adalah bulan Oktober yang mencapai 37,31 MWh dan pada saat itu lama penyinaran/insolasi berada dalam nilai relatif tinggi pula, yaitu 9,91 jam. Hal ini tentu tepat lantaran lama penyinaran yang semakin panjang umumnya terjadi saat musim kemarau, di mana insolasi yang lama menjadikan intensitas radiasi matahari pada hari tersebut juga lebih banyak, sehingga menjadikan panel surya mampu memproduksi energi listrik lebih maksimal.

4. Kesimpulan

Berdasarkan penelitian tugas akhir berjudul analisis potensi dan unjuk kerja perencanaan Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) di Gedung Fakultas Psikologi Universitas Diponegoro menggunakan *software* PVSyst 6.43, dapat disimpulkan bahwa sistem PLTS yang dirancang pada perencanaan PLTS Fakultas Psikologi Universitas Diponegoro adalah sebuah sistem yang terhubung dengan jaringan PLN (*OnGrid*).

Dalam perancangan sistem menggunakan modul sebanyak 730 buah yang terbagi menjadi 340 panel di area parkir sepeda motor dan 390 di area *rooftop*. Untuk sudut kemiringan panel surya adalah 9° dengan sudut azimut 17° dengan penyangga berjenis *fixed tilt*.

Komponen yang digunakan adalah 730 buah panel surya merk Kenika tipe NPS320W dengan kapasitas 320 Wp, Untuk inverter adalah merk Princeton Power System tipe GTB-100-G1.2 dengan kapasitas 100 kW sebanyak 2 buah. Besar energi listrik yang dihasilkan PLTS adalah sebesar 387,77 MWh/tahun, setelah melalui proses konversi energi dan pembalikan arus menjadi 374,11 MWh. Dengan pembagian 260,05 MWh daya digunakan guna keperluan penggunaan listrik sendiri di Fakultas Psikologi Universitas Diponegoro dan sebesar 114,06 MWh daya listrik disalurkan ke jala-jala PLN tiap tahunnya.

Besarnya rasio unjuk kerja (*performance ratio*) per tahun berdasarkan simulasi PVSyst 6.43 adalah sebesar 78,9% dengan nominal daya keluaran maksimal PLTS sebesar 234 kWp dan produksi normal pada saat kondisi STC sebesar 210 kW.

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]. M. A. Ridho, B. Winardi, dan A. Nugroho, “Analisis Potensi Dan Unjuk Kerja Perencanaan Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) Di Fakultas Psikologi Universitas Diponegoro Menggunakan Software PVSyst 6.43,” Universitas Diponegoro, 2018.
- [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, *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]. Universitas Diponegoro, 2020. “Lokasi Univeritas Diponegoro.” [Online]. Tersedia: <https://www.undip.ac.id/language/id/lokasi/>. [Diakses: 20 Februari 2020].
- [19]. Badan Meteorologi Klimatologi dan Geofisika (BMKG) Jawa Tengah, Stasiun Klimatologi Semarang, 2019. “Data Lama Penyinaran Matahari”. [Online]. Tersedia : <https://dataonline.bmkg.go.id/>. [Diakses: 08 Februari 2020].
- [20]. Y. Perdana, I.Wardiah, dan E.Yohanes, “Perencanaan Pembangkit Listrik Tenaga Surya OnGrid 5500 Watt di Rumah Kost Akademik,” Politeknik Negeri Banjarmasin, 2018.