

PERANCANGAN PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA SURYA (PLTS) HYBRID DI GEDUNG ICT UNIVERSITAS DIPONEGORO MENGUNAKAN SOFTWARE PVSYSY 7.0

Ragil Adi Nugroho*), Bambang Winardi dan Sudjadi

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

*)E-mail: ragil.cr7@gmail.com

Abstrak

Indonesia berada di wilayah khatulistiwa sehingga memiliki potensi energi surya yang dapat dimanfaatkan untuk Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS). Menurut *Power Data Acces Viewer* NASA pada tahun 2019 Gedung ICT Universitas Diponegoro mempunyai tingkat radiasi rata-rata yang relatif tinggi yaitu sebesar 5,52 kWh/m²/hari, sehingga dapat memanfaatkan area *rooftop* dan area parkir terbuka menjadi *siteplan* PLTS. PLTS ini menggunakan sistem *Hybrid* yang mengandalkan energi matahari sebagai sumber utama dan baterai sebagai cadangan. Selain itu juga terdapat *Automatic Transfer Switch* (ATS) yang dapat menghubungkan ke jaringan PLN jika baterai dalam kondisi limit. Melalui *software* PVSyst 7.0, dengan komponen yang terdiri dari 135 modul berkapasitas 310 Wp/modul, 144 baterai dengan kapasitas 12v200 Ah/baterai, 9 unit inverter 5 kW dan 9 unit SCC 100 A/unit, energi listrik yang dihasilkan sebesar 99,1 MWh setiap tahunnya. Setelah melalui proses konversi energi listrik berkurang menjadi 68,230 MWh dengan pembagian 57,180 MWh mensuplai beban dan 11,050 MWh dikirim ke baterai sebagai cadangan dengan efisiensi sebesar 67%.

Kata kunci: Energi Surya, PLTS, Hybrid, PVSyst 7.0

Abstract

Indonesia is located in the equatorial region so it has the potential for solar energy which can be utilized for Solar Power Generation (PLTS). According to *Power Data Access Viewer* NASA's in 2019, ICT Building of Diponegoro University has a relatively high average radiation level of 5.52kWh/m²/day, that it can take advantage of the rooftop area and open parking area to become a *siteplan* PLTS. This PLTS uses a system Hybrid that relies on solar energy as the main source and the battery as a backup. In addition, there is also an *Automatic Transfer Switch* (ATS) that can connect to the PLN network if the battery is in a limit condition. Through *software* PVSyst 7.0, with components consisting of 135 modules with a capacity of 310Wp/module, 144 batteries with a capacity of 12v200Ah/battery, 9 unit of 5kW inverter and 9 units of SCC 100A/unit, the electrical energy produced is 99,1MWh every year. After going through the electrical energy conversion process it reduces to 68,230 MWh with a division of 57,180 MWh supplying the load and 11,050 MWh is sent to the battery as backup with an efficiency of 67%.

Keywords: Solar Energy, PLTS, Hybrid, PVSyst 7.0

1. Pendahuluan

Indonesia memiliki total potensi energi terbarukan ekuivalen 442 GW yang dapat digunakan untuk pembangkit listrik, sedangkan pemanfaatannya pada tahun 2018 baru sebesar 8,8 GW atau 0,019% dari total potensi energi terbarukan. Potensi energi terbarukan terbesar adalah energi surya sebesar 207,8 GWp [1].

Sebagai negara yang berada di wilayah khatulistiwa, Indonesia hampir sepanjang tahun mendapatkan sinar matahari yang cukup, sehingga memiliki potensi energi surya yang potensial untuk dapat dimanfaatkan dan dikembangkan baik untuk pembangkit listrik ataupun

untuk keperluan lainnya. Sesuai dengan data yang disebutkan dalam RUEN, Indonesia memiliki total potensi energi surya sebesar 207.898 MWp yang mencakup di 34 Provinsi [2].

Dengan potensi energi matahari yang cukup tinggi di Indonesia dan dengan dukungan regulasi dari pemerintah maka Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) merupakan salah satu aplikasi dari penggunaan energi terbarukan, dengan matahari sebagai sumber energi primer. Komponen utama dari teknologi photovoltaic adalah sel photovoltaic yang terdiri dari sel-sel yang terbuat dari bahan semikonduktor. Dalam pengoperasian sel photovoltaic, terdapat faktor-faktor yang mempengaruhi kinerja dan efisiensi dari sel tersebut, antara

lain irradiasi, temperatur, sudut dari sel photovoltaic terhadap matahari, dan pengaruh bayangan (shading) [3]. Untuk mengetahui beragam parameter meteorologi dan klimatologi NASA Prediction of Worldwide Energy Resource Higher Resolution Daily Time Series Climatology Resource for SSE-Renewable Energy [4]. Indonesia yang terbentang melewati garis khatulistiwa memiliki potensi energi surya sangat besar, dimana radiasi penyinarannya yaitu 4,80 kWh/ m²/hari [5]. Radiasi matahari memiliki beragam jenis dan dimanfaatkan panel surya guna mengubah energi surya ke energi listrik [6].

Kota Semarang memiliki letak astronomis di belahan bumi selatan sehingga sudut kemiringan panel yang cocok saat hujan yaitu 1° serta saat kemarau yaitu 24°, sedangkan sudut kemiringan paling optimal panel surya fixed tilt di kota Semarang yaitu 9° [7]. Jarak minimal rangkaian modul surya [8]. Kemudian, prinsip kerja panel surya ini diwakilkan oleh lapisan silikon tipe-n dan tipe-p yang dapat digunakan sebagai penghasil medan listrik yang mana elektron dapat diolah agar menghasilkan listrik [9].

Gedung ICT Universitas Diponegoro ini dipilih untuk perancangan PLTS karena terdapat lahan kosong yang dapat dimanfaatkan. Selain itu, pada area rooftop juga masih terdapat lahan kosong yang dapat dimanfaatkan sebagai PLTS yang dapat menghasilkan energi listrik yang bersumber dari cahaya matahari. Kemudian letak astronomis dari Gedung ICT yaitu pada 7,0661° LS dan 110,4381° BT juga berpotensi untuk dipasang PLTS jika dilihat dari parameter meteorologi yang diperoleh [10].



Gambar 1. Area Rooftop Gedung ICT UNDIP

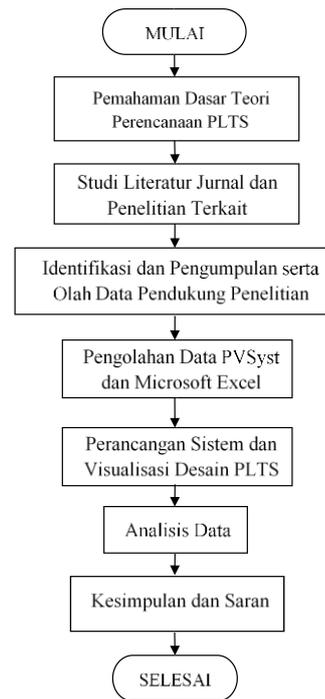
Adapun penelitian tugas akhir ini bertujuan untuk merancang dan menganalisis potensi dan unjuk kerja Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) dengan memanfaatkan serta mengoptimalkan penggunaan lahan kosong dan area rooftop Gedung ICT Universitas Diponegoro untuk memaksimalkan penggunaan daya PLTS [11]. Kemudian menggunakan sistem PLTS hybrid dengan PLTS sebagai sumber energi listrik utama yang kemudian terdapat baterai sebagai cadangannya serta memasang ATS (automatic transfer switch) untuk

mengalihkan sumber daya dari PLTS (sumber daya utama) ke PLN (sebagai *backup*) ataupun sebaliknya. Perancangan ini dilakukan dengan menggunakan software PVSyst 7.0.

2. Metode

2.1. Perancangan Simulasi

Diagram alir dari Tugas Akhir berjudul “Perancangan Sistem Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) Hybrid di Gedung ICT Universitas Diponegoro Menggunakan Software PVSyst 7.0” dapat dilihat pada 2:



Gambar 2. Diagram Alir Pengerjaan Tugas Akhir

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 Gedung ICT Universitas Diponegoro selama periode tahun 2019. Adapun beberapa data yang diperlukan untuk pengerjaan Tugas Akhir ini adalah sebagai berikut :

Tabel 1. Data Intensitas Radiasi Matahari di Lokasi Penelitian Tahun 2019

BULAN	Intensitas Radiasi Matahari (kWh/m ² /hari)
Januari	4,88
Februari	5,27
Maret	4,70
April	5,14
Mei	5,39
Juni	5,17
Juli	5,39
Agustus	5,99
September	6,45
Oktober	6,54
November	6,14
Desember	5,12
Rata-Rata	5,52

Tabel 2. Data Temperatur Rata-rata di Lokasi Penelitian Tahun 2019

BULAN	Temperatur Rata-rata (°C)
Januari	26,46
Februari	26,69
Maret	26,17
April	26,83
Mei	27,31
Juni	27,16
Juli	27,39
Agustus	27,71
September	28,44
Oktober	29,70
November	29,75
Desember	27,23
Rata-Rata	27,57

Tabel 3. Data Perkiraan Penggunaan Beban Harian per jam di Gedung ICT Universitas Diponegoro

Waktu (WIB)	Beban (Wh)	
	Hari kerja	Hari libur
00.00-01.00	3401,75	3454,72
01.00-02.00	3401,75	3454,72
02.00-03.00	3401,75	3454,72
03.00-04.00	3401,75	3454,72
04.00-05.00	3401,75	3454,72
05.00-06.00	3401,75	3454,72
06.00-07.00	3401,75	3454,72
07.00-08.00	11410,35	1753,48
08.00-09.00	10210,35	2795,22
09.00-10.00	10210,35	2795,22
10.00-11.00	36122,85	28707,72
11.00-12.00	10210,35	2795,22
12.00-13.00	10810,35	3395,22
13.00-14.00	10210,35	2795,22
14.00-15.00	10210,35	2795,22
15.00-16.00	11410,35	1753,48
16.00-17.00	10422,85	3007,72
17.00-18.00	3401,75	3454,72
18.00-19.00	3401,75	3454,72
19.00-20.00	3401,75	3454,72
20.00-21.00	3401,75	3454,72
21.00-22.00	3401,75	3454,72
22.00-23.00	3401,75	3454,72
23.00-00.00	3401,75	3454,72
Total	178853	100960

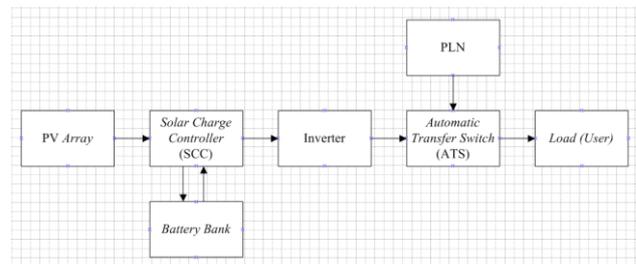
Data pada tabel 1 dan 2 merupakan parameter meteorologi yang diperlukan dalam simulasi untuk mengetahui pengaruhnya terhadap produksi energi listrik PLTS.

Selain itu, pengambilan data juga diperoleh melalui pengukuran perkiraan penggunaan beban prioritas harian di Gedung ICT Universitas Diponegoro. Data ini dibutuhkan sebagai estimasi penggunaan beban prioritas harian saat 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.

Dari data tabel 3 dapat dilihat bahwa besar pemakaian daya listrik saat hari kerja (5 hari) adalah 0,179 MWh per hari dan saat hari libur (2 hari) sebesar 0,101 MWh per hari.

2.3. Simulasi

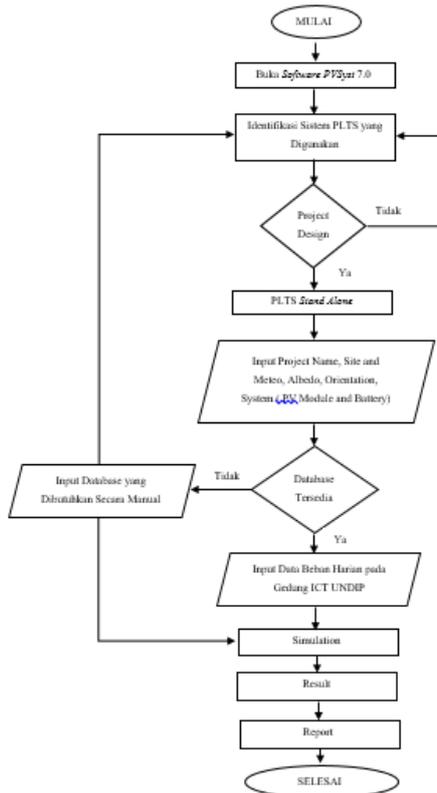
Pemanfaatan energi matahari di sarana parkir dan rooftop Gedung ICT Universitas Diponegoro yang berlokasi di Kota Semarang, Jawa Tengah menjadi sebuah PLTS memiliki potensi yang cukup besar. Dengan potensi pemanfaatan energi matahari dan penggunaan konsumsi energi listrik yang besar di Gedung ICT Universitas Diponegoro, dipilih sebuah sistem yaitu PLTS Hybrid [12]. Di mana sumber energi listrik yang digunakan guna mencukupi kebutuhan energi listrik Gedung ICT Universitas Diponegoro tidak hanya dicatu oleh PLTS saja, namun juga baterai sebagai pemasok daya di malam hari atau sebagai pemasok daya cadangan [13]. Selain itu juga terdapat Automatic Transfer Switch (ATS) dengan kontrol baterai yang dapat menghubungkan ke jaringan PLN jika baterai dalam kondisi limit [14].



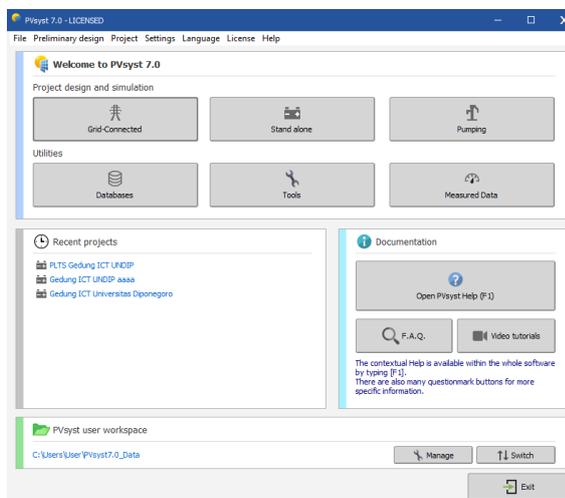
Gambar 3. Blok Diagram Sistem PLTS Hybrid

PVSyst merupakan paket perangkat lunak/software 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 [15].

Melalui *software* PVSyst 7.0 dengan mengabaikan pengaruh bayangan/*shading factor* maka potensi produksi listrik, perancangan sistem, spesifikasi komponen pendukung, dan beragam parameter lainnya selama periode waktu, dapat teridentifikasi dengan baik [16]. Setelah diperoleh hasil dari simulasi *software* PVSyst 7.0, maka dilakukan analisis mengenai potensi produksi energi listrik yang dihasilkan terkait dengan unjuk kerja PLTS di Gedung ICT Universitas Diponegoro.



Gambar 4. Diagram Alir Pengoperasian Software PVSyst 7.0



Gambar 5. Tampilan Awal Software PVSyst 7.0

3. Hasil dan Analisis

3.1. Hasil Simulasi PVSyst 7.0 PLTS Gedung ICT UNDIP

Berdasarkan hasil dari simulasi PVSyst 7.0 tanpa memperhitungkan pengaruh bayangan/*shading factor*, Pembangkit Listrik Tenaga Surya Gedung ICT Universitas Diponegoro memiliki potensi optimal untuk menghasilkan energi listrik sebesar 99,1 MWh per tahunnya.

Sistem menggunakan modul sebanyak 135 buah yang seluruhnya ditempatkan pada area *rooftop* Gedung ICT Universitas Diponegoro. Untuk sudut kemiringan panel surya adalah 9° dengan sudut azimut 17° dengan penyangga berjenis *fixed tilt*. Komponen yang digunakan adalah 135 buah panel surya merk AXITEC tipe AXIpremium BLK AC-310M/60S dengan kapasitas 310 Wp, untuk inverter adalah merk Glory M5000 HHP-48 dengan kapasitas 5 kW sebanyak 9 buah, untuk baterai adalah Baterai Techfine UD200-12 *Lead Acid* sebanyak 144 buah dan *Solar Charger Controller* sebanyak 9 buah.

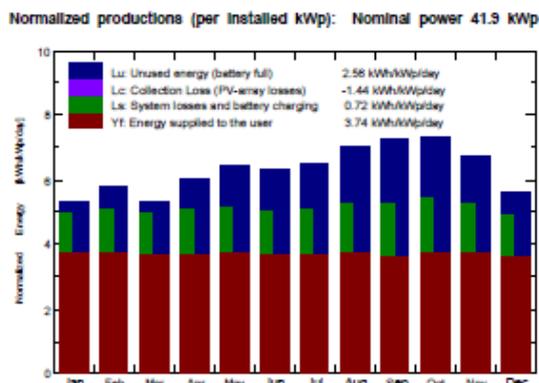
Adapun hasil simulasi PVSyst 7.0 pada perancangan Pembangkit Listrik Tenaga Surya Gedung ICT Universitas Diponegoro dapat dilihat pada tabel 4.1 di bawah ini:

Tabel 4. Potensi Energi Listrik PLTS Gedung ICT Universitas Diponegoro Berdasarkan Simulasi PVSyst 7.0

Bulan	GlobInc kWh/m ²	GlobEff kWh/m ²	E Avail kWh	E Unused kWh	E Miss kWh	E User kWh	E Load kWh	SoIFrac
Januari	151,3	143,0	7103	1989	0	4921	4921	1,000
Februari	147,6	142,4	7052	2390	0	4385	4385	1,000
Maret	145,7	143,6	7089	2046	0	4843	4843	1,000
April	154,2	157,0	7707	2900	0	4664	4664	1,000
Mei	167,1	176,3	8704	3425	0	4921	4921	1,000
Juni	155,1	166,2	8189	3265	0	4664	4664	1,000
Juli	167,1	178,0	8674	3592	0	4843	4843	1,000
Agustus	185,7	193,6	9360	4176	0	4921	4921	1,000
September	193,5	195,4	9400	4531	0	4587	4587	1,000
Oktober	202,7	198,0	9651	4518	0	4921	4921	1,000
November	184,2	175,4	8712	3728	0	4742	4742	1,000
Desember	158,7	149,0	7465	2528	0	4765	4765	1,000
Tahun	2012,9	2017,8	99107	39088	0	57180	57180	1,000

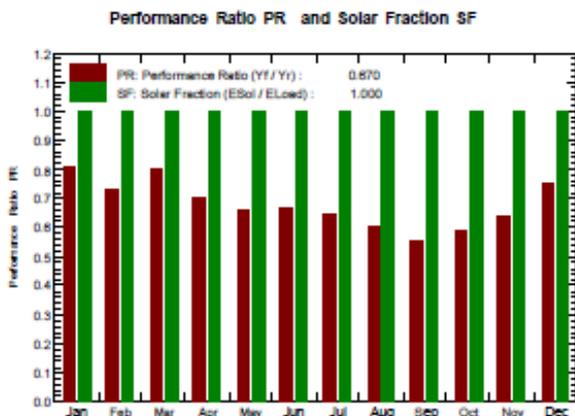
Berdasarkan tabel 4, energi listrik yang dihasilkan Pembangkit Listrik Tenaga Surya Gedung ICT Universitas Diponegoro memiliki produksi energi listrik terbesar pada bulan Oktober dan terendah pada bulan Februari. Energi listrik yang dihasilkan Pembangkit Listrik Tenaga Surya Gedung ICT Universitas Diponegoro adalah sebesar 99,1 MWh setiap tahunnya sebelum dikonversi menjadi listrik arus bolak-balik oleh inverter. Setelah melalui proses konversi energi listrik, energi listrik yang dihasilkan berkurang menjadi 68,230 MWh per tahun dengan pembagian 57,180 MWh digunakan untuk suplai beban Gedung ICT Universitas Diponegoro dan 11,050 MWh sisanya dikirimkan ke baterai sebagai energi cadangan

apabila panel surya tidak mampu mensuplai beban di siang hari akibat hujan atau cuaca mendung. Namun setiap tahunnya terdapat *energy unused (full battery)* yang merupakan energi tidak terpakai yang dihasilkan panel surya setiap tahunnya sebesar 30,87 MWh yang terjadi karena baterai sudah penuh dan beban sudah tersuplai. Banyaknya energi yang tidak terpakai ini karena menggunakan baterai *Lead Acid* yang *cycle lifenya* lebih sedikit daripada menggunakan baterai *Lithium Ion*. Hal ini dapat dikurangi dengan cara penambahan beban sebesar nilai *energy unused* pada tiap bulannya.



Gambar 6. Grafik Produksi Listrik oleh PLTS dalam Kondisi Normal

Berdasarkan gambar 6, energi listrik yang dihasilkan Pembangkit Listrik Tenaga Surya Gedung ICT Universitas Diponegoro memiliki hasil produksi energi listrik yang beragam dan fluktuatif di tiap bulannya.



Gambar 7. Grafik Rasio Kinerja PLTS Gedung ICT Universitas Diponegoro

Berdasarkan gambar 7 dapat dilihat *Performance Ratio* atau rasio kinerja dari sistem Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) Gedung ICT Universitas Diponegoro yang menunjukkan rasio antara hasil aktual (output inverter) dan hasil target (output array PV) yang cukup baik yaitu sebesar 67%.

3.2. Analisis Produksi Energi Listrik Pembangkit Listrik Tenaga Surya Gedung ICT Universitas Diponegoro

Berdasarkan hasil simulasi perancangan Pembangkit Listrik Tenaga Surya Gedung ICT Universitas Diponegoro dengan *software* PVSyst 7.0 didapatkan hasil produksi energi listrik tiap bulannya. Jumlah energi listrik yang dihasilkan oleh Pembangkit Listrik Tenaga Surya Gedung ICT Universitas Diponegoro dipengaruhi faktor seperti intensitas radiasi dan temperatur, sesuai dengan parameter yang terdapat pada *Geographical Site Parameters* di database PVSyst 7.0.

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 perancangan Pembangkit Listrik Tenaga Surya 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.

Tabel 5. Hubungan Intensitas Radiasi dan Produksi Energi PLTS

BULAN	Intensitas Radiasi Matahari	Intensitas Radiasi Matahari Pada Panel Surya	Produksi Energi Listrik
	(kWh/m ² /hari)	(kWh/m ² /bulan)	(kWh/bulan)
Januari	4,88	144,9	7103
Februari	5,27	143,9	7052
Maret	4,70	145,3	7089
April	5,14	158,7	7707
Mei	5,39	178,1	8704
Juni	5,17	168,0	8189
Juli	5,39	179,9	8674
Agustus	5,99	195,4	9360
September	6,45	197,2	9400
Oktober	6,54	199,9	9651
November	6,14	177,4	8712
Desember	5,12	151,0	7465

Berdasarkan tabel 5 dapat dilihat bahwa produksi energi listrik terbesar adalah bulan Oktober yang mencapai 9,651 MWh dan pada saat itu intensitas radiasi matahari yaitu 6,54 kWh/m²/hari serta intensitas radiasi matahari pada panel surya sebesar 199,9 kWh/m²/bulan. Oleh karena itu,

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.

Tabel 6. Hubungan Temperatur dan Produksi Energi PLTS

BULAN	Temperatur (°C)	Produksi Energi Listrik (kWh)
Januari	26,46	7103
Februari	26,69	7052
Maret	26,17	7089
April	26,83	7707
Mei	27,31	8704
Juni	27,16	8189
Juli	27,39	8674
Agustus	27,71	9360
September	28,44	9400
Oktober	29,70	9651
November	29,75	8712
Desember	27,23	7465

Berdasarkan tabel 6 dapat dilihat bahwa produksi energi listrik terbesar adalah bulan Oktober yang mencapai 9,651 MWh dan pada saat itu temperatur berada dalam nilai relatif tinggi pula, yaitu 29,70 °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.

3.2.3. Perkiraan Biaya dan Penghematan Pembangkit Listrik Tenaga Surya Gedung ICT Universitas Diponegoro

Tabel 7. Perkiraan Biaya Investasi

Barang	Jumlah (pcs)	Harga Satuan (\$)	Investasi Awal (\$)	Biaya O&M (\$)	Biaya Penggantian (\$)
Panel Surya AXITEC AXIpremium BLK AC-310M/60S	135	\$ 168,4	\$ 22.734	\$ 227	-
Inverter Glory M5000 HHP-48	9	\$ 674,5	\$ 6.070,5	\$ 60	-
Baterai Techfine UD200-12	144	\$ 165	\$ 23.760	\$ 237	\$ 2.376/year
Solar Charger Controllor	9	\$ 585,75	\$ 5.271,75	\$ 52	-
Automatic Transfer Switch (ATS)	1	\$317	\$317	\$3,17	-
Total			\$ 58.153,25	\$ 579,17	\$ 2.376/year

Biaya komponen sistem yang terdiri dari panel surya, baterai, inverter, Solar Charge Controller (SCC), dan Automatic Transfer Switch (ATS) masing-masing memiliki biaya modal, biaya penggantian dan biaya Operation & Maintenance (O&M) pada masa investasi proyek selama 20 tahun. Besar biaya operasional dan pemeliharaan yang ditetapkan sejumlah 0,5%-1% dari Capital Cost atau modal dari pembelian komponen.

Dengan memasang Pembangkit Listrik Tenaga Surya di Gedung ICT Universitas Diponegoro juga dapat dilakukan penghematan karena dengan adanya Pembangkit Listrik Tenaga Surya maka pihak Universitas Diponegoro dapat mengurangi biaya pembayaran listrik ke PLN. Dengan Universitas Diponegoro termasuk dalam golongan tarif listrik S-2 dengan batas daya antara 3.500 VA – 200 kVA, maka tarif dasar listriknnya sebesar Rp. 1.444,70 per kWh, dengan perhitungan sebagai berikut :

$$\begin{aligned} \text{Harga Listrik PLN} &= 178,853 \text{ kWh} \times \text{Rp. } 1.444,70 / \text{kWh} = \text{Rp. } 258.388,93 / \text{hari} \\ &= \text{Rp. } 258.388,93 \times 30 \text{ hari} \\ &= \text{Rp. } 7.751.667,90 / \text{bulan} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Biaya Investasi per tahun} &= \left(\frac{\text{Rp. } 820.251.591,00 + \text{Rp. } 8.169.192,85}{25 \text{ tahun}} \right) + \text{Rp. } 33.596.640,00 / \text{tahun} \\ &= \text{Rp. } 33.136.831,35 + \text{Rp. } 33.596.640,00 \\ &= \text{Rp. } 66.733.471,35 / \text{tahun} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Biaya Investasi per bulan} &= \text{Rp. } 66.733.471,35 \div 12 \text{ bulan} \\ &= \text{Rp. } 5.561.122,613 / \text{bulan} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Penghematan} &= \text{Rp. } 7.751.667,90 - \text{Rp. } 5.561.122,613 \\ &= \text{Rp. } 2.190.545,287 / \text{bulan} \end{aligned}$$

Jadi, berdasarkan perhitungan berdasarkan biaya listrik menggunakan PLN dan biaya investasi didapatkan penghematan sebesar Rp. 2.190.545,287 tiap bulannya. Hal ini berarti perancangan PLTS Hybrid ini dapat dikatakan berhasil dari segi biaya, karena dengan memasang PLTS dapat mengurangi biaya daripada menggunakan PLN.

4. Kesimpulan

Berdasarkan perancangan, simulasi dan analisis yang telah dilakukan dalam penelitian ini, sistem menggunakan modul sebanyak 135 buah yang seluruhnya ditempatkan pada area rooftop Gedung ICT Universitas Diponegoro. Untuk sudut kemiringan panel surya adalah 9° dengan sudut azimut 17° dengan penyangga berjenis fixed tilt.

Komponen yang digunakan adalah 135 buah panel surya merk AXITEC tipe AXIpremium BLK AC-310M/60S dengan kapasitas 310 Wp, Untuk inverter adalah merk Glory M5000 HHP-48 dengan kapasitas 5 kW sebanyak 9 buah, untuk baterai adalah Baterai Techfine UD200-12 Lead Acid sebanyak 144 buah dan Solar Charger Controllor sebanyak 9 buah.

Besar energi listrik yang dihasilkan PLTS adalah sebesar 99,1 MWh/tahun, setelah melalui proses konversi energi menjadi 68,230 MWh per tahun dengan pembagian 57,180 MWh digunakan untuk suplai beban Gedung ICT Universitas Diponegoro dan 11,050 MWh sisanya dikirimkan ke baterai. Besarnya rasio unjuk kerja (*performance ratio*) per tahun berdasarkan simulasi PVSyst 7.0 adalah sebesar 67 % dengan nominal daya keluaran PLTS sebesar 41,9 kWp.

Biaya investasi awal yang dikeluarkan untuk perancangan sistem PLTS di Gedung ICT Universitas Diponegoro adalah sebesar \$ 58.153,25 atau Rp. 820.251.591,00. Kemudian untuk biaya *Operation & Maintenance* (O&M) sebesar \$ 579,17 atau Rp. 8.169.192,85 dan untuk ketentuan biaya penggantian baterai sebesar \$ 2.376 /year atau Rp. 33.596.640,00 /year. Banyaknya penghematan yang dilakukan setelah memasang PLTS di Gedung ICT Universitas Diponegoro yaitu sebesar Rp. 2.190.545,287 /bulan.

Kemudian untuk saran agar penelitian ini lebih baik kedepannya yaitu menambah pembahasan terkait analisis PLTS terkait faktor bayangan (*shading factor*) yang menyebabkan daya keluaran modul surya menjadi berkurang dari nominal seharusnya. Kemudian penambahan pembahasan terkait analisis ekonomi teknik yang lebih mendalam sehingga mengetahui NPV, BCR, dan BEP serta Payback Period. Serta perhitungan dan pembahasan terkait instalasi kabel dan proteksi pada PLTS agar lebih mengetahui rugi – rugi pada system.

Referensi

- [1] S. Suharyati, S. H. Pambudi, J. L. Wibowo, and N. I. Pratiwi, "Outlook Energi Indonesia 2019," 2019.
- [2] Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral, "Buku Rencana Strategis (Renstra) Direktorat Jenderal Energi Baru Terbarukan dan Konservasi Energi (Ditjen EBTKE) 2020-2024", 2020.
- [3] W. Omran, "Performance Analysis of Grid-Connected Photovoltaic Systems", Ph.D thesis, University of Waterloo at Ontario, 2010.
- [4] 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: 18 September 2020].
- [5] Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral, "Jurnal Energi Media Komunikasi Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral Edisi 2", 2016.
- [6] Earthscan, *Planning and Installing Photovoltaic Systems: A guide for installers, architects and engineers - second edition*. 2008.
- [7] 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.
- [8] M. A. Ridho, B. Winardi, dan A. Nugroho, "Analisis Potensi Dan Unjuk Kerja Perancangan Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) Di Departemen Teknik Elektro Universitas Diponegoro Menggunakan Software PVSyst 6.43," Universitas Diponegoro, 2018.
- [9] ABB, *Technical Application Papers N0.10 Photovoltaic Plants*, Bergamo Italy, 2008.
- [10] International Finance Corporation (IFC), *Utility-Scale Solar Photovoltaic Power Plants*. India, 2012.
- [11] 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.
- [12] Randy Marcellino, "Perancangan Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) Terpusat Off-Grid System Untuk Pedesaan Terpencil", UNSKA Riau, 2017.
- [13] Direktur Jenderal Energi Baru, Terbarukan dan Konservasi Energi, "Panduan Studi Kelayakan Pembangkit Listrik Tenaga Surya Terpusat", Tetra Tech ES, Inc, Jakarta Selatan, 2018.
- [14] Abdul Majid, "Perancangan Sistem Automatic Transfer Switch (ATS) Sebagai Komponen Pelengkap Sistem Hybrid PLN-Sel Surya," Universitas Muhammadiyah Palembang, 2018.
- [15] Farizky Tirta, Bambang Winardi, Budi Setiyono, "Analisis Potensi Dan Unjuk Kerja Perencanaan Pembangkit Listrik Tenaga Surya Di SMA Negeri 4 Semarang", Universitas Diponegoro, 2020.
- [16] Direktur Jenderal Energi Baru, Terbarukan dan Konservasi Energi, "Panduan Studi Kelayakan Pembangkit Listrik Tenaga Surya Terpusat", Tetra Tech ES, Inc, Jakarta Selatan, 2018.