




Desain, Simulasi dan Evaluasi Biaya Pembangkit Listrik Tenaga Surya 5 MW di Universitas Tadulako menggunakan Pvsyst

Irwan Mahmudi ^{a,1}, Ratih Mar'atus Sholihah ^{a,2,*}, Nurahani Amin ^{a,3}, Oktadli Pratama Simbaju ^{a,4}

^a Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Tadulako, Jl. Soekarno Hatta No. KM. 9, Palu, Indonesia

¹ irwan.electro07@gmail.com; ² ratih117@gmail.com*; ³ nurhaniamin@gmail.com; ⁴ oktadlisimbaju99@gmail.com

ARTICLE INFO	ABSTRAK
<p>Article History Submission 30-07-2024 Revision 10-08-2024 Accepted 28-08-2024</p> <p>Kata Kunci: PLTS, Pvsyst, Desain, 5MW</p>	<p>Energi matahari (solar) memberikan banyak manfaat bagi kehidupan manusia. Salah satu pemanfaatan energi surya yang dapat diimplementasikan adalah dalam bentuk Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS). Universitas Tadulako berkomitmen untuk melaksanakan PLTS secara mandiri. Salah satu upaya yang dilakukan adalah dengan memanfaatkan lahan yang luas sebagai lahan PLTS yang saling terhubung, yang sering disebut dengan PLTS on-grid atau grid-connected. PLTS on-grid merupakan sistem PLTS yang terhubung dengan jaringan distribusi PLN. Pada sistem ini, jaringan listrik PLN berperan sebagai penyalur atau penyambung arus listrik yang berasal dari panel surya yang disalurkan ke beban. Dari hasil pengukuran diketahui luas lahan kosong Universitas Tadulako menurut masterplan UNTAD sekitar 5 hektar. Melalui software PVSyst total daya yang dihasilkan oleh PV sebesar 5544 kWp dan total daya inverter sebesar 4620 kWac dengan total PV terpasang sebanyak 10080 panel. Panel tersebut terhubung dengan 42 inverter. Setiap satu unit inverter mempunyai 12 string dan setiap string pada inverter terdiri dari 20 panel surya. Dari hasil tersebut, investasi sistem PLTS di Universitas Tadulako diperkirakan mencapai Rp. 75.907.251.114,00.</p> <p style="text-align: right;">This is an open access article under license CC-BY-SA.</p> 

1. Pendahuluan

Pemanfaatan energi matahari menjadi solusi dalam pengembangan energi alternatif untuk memainkan peran penting dalam mengurangi pemanasan global dan perubahan iklim. Hal ini selaras dengan Peraturan Menteri Energi dan Sumber Daya Mineral No. 17/2013 Pasal 2 Ayat 1 yang menyatakan bahwa dalam rangka memenuhi kebutuhan tenaga listrik nasional melalui pemanfaatan energi surya yang ramah lingkungan, pemerintah menugaskan PT Perusahaan Listrik Negara (Persero) untuk membeli tenaga listrik dari Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS)[1]. Upaya tersebut didukung dengan kondisi geografis Indonesia yang berada di zona khatulistiwa, sehingga durasi sinar matahari cukup memadai. Pemanfaatan energi matahari menggunakan teknologi yang disebut fotovoltaik (PV) yang dapat mengubah radiasi matahari

menjadi listrik. Teknologi PV banyak digunakan pada Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS). Ada berbagai jenis modul fotovoltaik, tergantung pada peringkat daya. Setiap modul memiliki nomor sel surya. Sel surya dibuat dengan menggunakan semikonduktor seperti silikon [2].

Sistem PV dipengaruhi oleh berbagai faktor seperti bahan sel fotovoltaik, metode instalasi, kemiringan atau orientasi sistem, susunan sel PV dalam sistem, kondisi iklim lokasi, dll[3]. Salah satu bahan sel PV adalah silikon crystalline yang diklasifikasikan menjadi monocrystalline dan polycrystalline. Panel PV monocrystalline mempunyai efisiensi yang lebih tinggi ($>17\%$ in Standard Test Condition) dari pada polycrystalline dan thinfilm solar[4]. Performa yang baik tersebut karena kemurnian silikon yang ada dalam sel surya monokristalin tinggi. Kinerja sistem fotovoltaik bergantung pada parameter atmosfer seperti insolasi matahari, suhu lingkungan, dan kecepatan angin yang akan berbeda di berbagai musim[5]. Selain bahan dari sel fotovoltaik, kondisi iklim juga mempunyai peran yang penting terhadap kinerja sistem PV. Kondisi iklim yang membuat sinar atau iradiasi matahari dapat terpapar dengan baik ke PV akan meningkatkan kinerja dari sistem PV. Namun yang menjadi perhatian adalah, kondisi tersebut sebanding dengan peningkatan suhu lingkungan. Suhu lingkungan yang meningkat akan meningkatkan suhu modul. Hal tersebut dapat mengganggu kinerja sistem PV tersebut. Menurut standar internasional, energi iradiasi matahari satu zona yang lebih dari $3,5 \text{ kWh/m}^2$, memberikan pemanfaatan ekonomis pada peralatan tenaga surya seperti kolektor surya atau sistem fotovoltaik[6].

Sistem PV dikategorikan menjadi 3 topologi, yaitu sistem pembangkit listrik on grid, off-grid, dan hybrid[4]. Dimana sistem off grid adalah sistem yang murni mengandalkan energi matahari tanpa ada dukungan dari energi lain, dan disimpan dalam bentuk baterai[7]. Dalam sistem On grid, peralatan listrik menyala dengan tenaga surya yang beroperasi secara paralel dengan sumber energi konvensional yaitu PLN. Setiap kelebihan energi yang dihasilkan akan dimasukkan ke dalam grid. Manfaat dari instalasi tenaga surya on grid adalah mengurangi ketergantungan pada perusahaan listrik besar (PLN)[8]. Selain itu, Sistem On Grid menghasilkan listrik bersih tanpa rugi-rugi transmisi, distribusi atau kebutuhan baterai[9]. Walaupun terhindar dari rugi-rugi tersebut, sistem PV masih memiliki beberapa rugi-rugi lain. Rugi-rugi tersebut dikategorikan menjadi rugi-rugi sistem rinci dan rugi-rugi inverter. Komponen kerugian sistem meliputi kerugian kualitas modul, kerugian ketidakcocokan susunan modul, kerugian kabel ohmik, energi virtual array pada MPP, energi virtual array pada tegangan tetap, dan kerugian ohmik saluran pengguna PV. Sedangkan rugi-rugi inverter terdiri dari energi yang tersedia pada keluaran inverter, efisiensi inverter, rugi-rugi inverter global, rugi-rugi inverter selama operasi (efisiensi), rugi-rugi inverter karena ambang batas daya, rugi-rugi inverter melebihi daya nominal inverter, rugi-rugi inverter karena ambang batas tegangan dan kerugian inverter terhadap tegangan inverter nominal[10].

Universitas Tadulako sebagai salah satu perguruan tinggi yang ada di Indonesia berencana membangun Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) dalam pengembangan energi baru terbarukan lewat program PLTS on grid 5 mega watt (MW). Adapun salah satu hal yang menjadi dasar adanya perencanaan pembangunan pembangkit listrik tenaga surya (PLTS) di Universitas Tadulako yaitu, masih tersedia lokasi atau lahan kosong sekitar 4,55 hektar sesuai master plan di Universitas Tadulako dari luas lahan keseluruhan Universitas Tadulako ± 180 hektar. Selain itu, di UNTAD memiliki potensi cahaya matahari yang baik dengan rata-rata $4,56 \text{ kWh/hari}$ dalam bulan berjalan mulai dari januari hingga desember. Hal tersebut menjadi dasar bahwa akan adanya manfaat ekonomis jika PLTS dibangun di lingkungan UNTAD. Aktivitas

dalam kampus yang berkisar antara jam 8 pagi sampai jam 4 sore juga sesuai dengan ketersediaan potensi cahaya matahari. Oleh karena itu, keberadaan PLTS menjadi peluang untuk menekan biaya operasional dalam penggunaan listrik di Universitas Tadulako.

Sebagai upaya persiapan pembangunan PLTS 5MW On Grid di Universitas Tadulako, maka perlu dilakukan simulasi dan desain teknis yang mengacu pada standart dan panduan yang ada. Simulasi yang dilakukan digunakan untuk mendapatkan jumlah PV dan konfigurasinya untuk menghasilkan daya target sebesar 5MW. Hasil desain tersebut akan menjadi acuan dalam menentukan biaya investasi kasar untuk membangun PLTS 5MW di Universitas Tadulako.

2. Metode Penelitian

2.1 Photovoltaic

Photovoltaic adalah alat yang dapat mengkonversi cahaya matahari secara langsung untuk diubah menjadi listrik. Kata photovoltaic biasa disingkat dengan PV. Jenis PV yang digunakan berdasarkan brand class tier 1 adalah Trina Solar monocrystalline 550 wp. Spesifikasi detail untuk jenis PV yang akan digunakan dapat dilihat pada tabel 1.

Tabel 1: Spesifikasi PV

No	Spesifikasi PV	Keterangan
1	Watt Daya Puncak-PMAX (Wp)	550
2	Toleransi Daya-P MAX (W)	0 ~ +5 Kekuatan
3	Tegangan Daya Maksimum-VMPP (V)	31.8
4	Arus Daya Maksimum-IMPP (A)	17.29
5	Tegangan Rangkaian Terbuka-VOC (V)	38.1
6	Arus Hubung Pendek-ISC (A)	18.39
7	Efisiensi Modul η_m (%)	21.0
8	Sel Surya	Monokristalin
9	Jumlah Sel	110 sel
10	Dimensi Modul	2384×1096×35 mm
11	Berat	32.6 kg
12	Kaca Depan	2.0 mm (0.08 inci)
13	Kaca Belakang	2.0 mm (0.08 inci)
14	Bingkai	35mm(1.38 inci)
15	Kabel	Kabel Teknologi Fotovoltaik 4.0 mm ² Potret: 280/280 mm Lanskap: 2050/2050 mm
16	NOCT (Nominal Operating Cell Temperature) atau Suhu Sel Operasi Nominal	43°C (±2°C)
17	Koefisien Suhu PMAX	- 0.34%/°C
18	Koefisien Suhu VOC	- 0.25%/°C
19	Koefisien Suhu ISC	0.04%/°C

Irwan Mahmudi (Desain, Simulasi dan Evaluasi Biaya Pembangkit Listrik Tenaga Surya 5 MW di Universitas Tadulako menggunakan Pvsyst)

20	Suhu Operasional	-40~+85°C
21	Tegangan Sistem Maksimum	1500V DC (IEC)

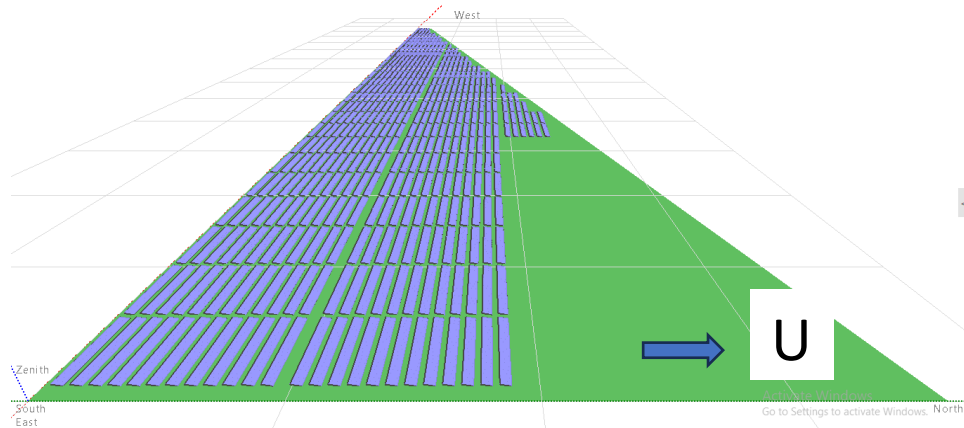
2.1.1 Cara Peletakan Modul PV

Kemiringan modul PV harus disesuaikan dengan posisi lintang dari lokasi pemasangan dan harus lebih dari 10° untuk mendapatkan mekanisme pembersihan diri [11]. Sedangkan standar aman sudut kemiringan yang dapat digunakan di Indonesia adalah sebesar 6° - 11° [12]. Dalam perencanaan PLTS terpusat, sudut azimuth merupakan sudut arah modul surya terhadap arah utara atau arah selatan. Apabila lokasi PLTS terpusat berada di Selatan garis khatulistiwa, maka modul surya atau PV diarahkan menghadap ke arah Utara (azimuth 0°). Sebaliknya, apabila lokasi PLTS terpusat berada di utara garis khatulistiwa, maka modul surya menghadap ke arah Selatan. Dengan kata lain, modul surya diarahkan pada azimuth 180° . Hal tersebut bertujuan agar tidak terhalang bayangan. Sehingga dalam penelitian ini menggunakan sudut 11° Ke arah utara karena lokasi berada di Selatan garis khatulistiwa.

Peletakan PV pada lahan yang telah ditentukan mengacu pada kondisi rill. Luas lahan kosong yang tersedia dan direncanakan sebagai lahan PLTS memiliki luas sebesar 54912m^2 dengan keterangan panjang tiap sisinya ditunjukkan pada gambar 1. Penyusunan PV juga memperhitungkan lebar jalan untuk kendaraan roda 2 dan roda 4. Terdapat jarak sebesar 3,5 meter di tengah-tengah lahan untuk mempermudah kendaraan lewat saat maintenance. Jarak dari tembok pagar ke modul PV juga dibuat sekitar 3,5 meter untuk menghindari bayangan pagar. Untuk area kosong (tidak ditempati PV) akan dialokasikan untuk bangunan panel dll, sehingga gambar peletakan PV ditunjukkan pada gambar 2.



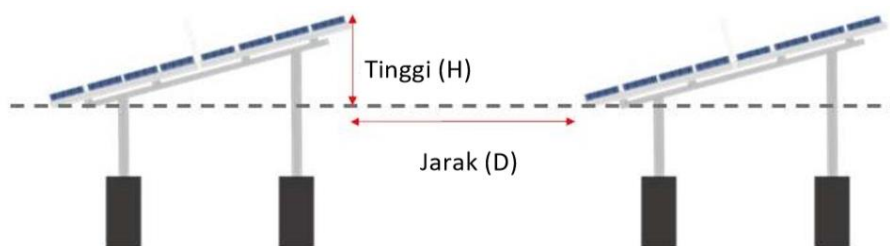
Gambar 1. lokasi lahan kosong di UNTAD yang akan dipasang PLTS



Gambar 2. Desain Peletakan PV

2.1.3 Menentukan Jarak Antar Rangkaian Fotovoltaik yang Ideal

Ketentuan praktis terkait jarak minimum antar rangkaian modul fotovoltaik (D) di lokasi yang dekat dengan daerah khatulistiwa setidaknya dua kali lipat ketinggian dari permukaan modul fotovoltaik (H)[11]. sedangkan jarak antar rangka modul fotovoltaik minimum sebesar 20mm untuk meningkatkan sirkulasi udara dan mengantisipasi pemuaian. Posisi D dan H ditunjukkan pada gambar 3. berdasarkan hasil perhitungan, jarak minimum antara modul surya adalah 0.9m. Sehingga dalam desain yang dikerjakan, akan menggunakan jarak 1.5 untuk menghindari bayangan antar modul.



Gambar 3. Jarak Antar Rangkaian Fotovoltaik

$$\frac{\text{Jarak (D)}}{\text{Tinggi Permukaan PV (H)}} \geq 2$$

Keterangan :

H = Tinggi permukaan rangkaian modul fotovoltaik

D = Jarak minimum antar rangkaian modul fotovoltaik yang diperlukan

Dengan kemiringan PV sebesar $H = \sin 11^\circ \times 2,384 = 0,45\text{m}$

$$\frac{\text{Jarak (D)}}{\text{Tinggi Permukaan PV (H)}} \geq 2$$

$$\frac{D}{0,45} \geq 2$$

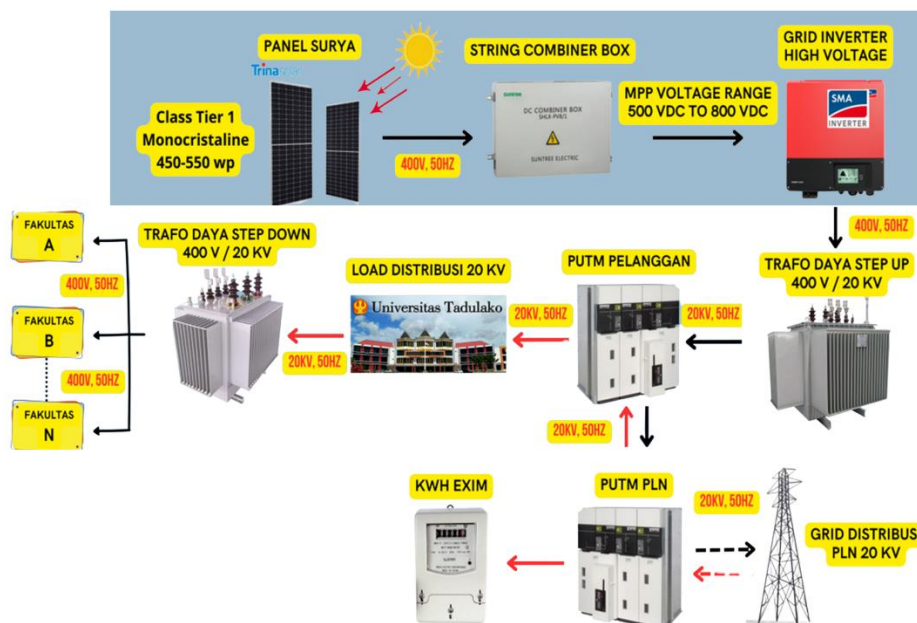
$$D \geq 2 * 0,45 \text{ m}$$

$$D \geq 0,9 \text{ m}$$

$$D = 1,5 \text{ m}$$

2.2 Sistem PLTS On Grid

PLTS on-grid adalah sistem PLTS yang terhubung dengan jaringan distribusi PLN dengan mengoptimalkan pemanfaatan energi dari panel surya untuk menghasilkan energi listrik semaksimal mungkin. Dengan adanya sistem ini akan mengurangi tagihan listrik rumah tangga, dan memberikan nilai tambah pada pemiliknya. Teknologi sistem ini tidak memakai baterai. Dalam sistem ini, jaringan listrik PLN berperan sebagai penyalur atau penghubung arus listrik yang berasal dari panel surya yang dialirkan pada beban. Pada siang hari, penggunaan listrik dapat memanfaatkan energi listrik dari sinar matahari dan pada malam hari karena tidak ada sinar matahari menyebabkan tidak ada produksi listrik dari solar panel, maka dapat menggunakan arus listrik yang berasal dari PLN[8]. Sistem PLTS on Grid pada sistem kelistrikan UNTAD dapat dilihat pada gambar 4. output dari PLTS akan masuk ke sistem UNTAD pada tegangan 400V dengan frekuensi 50Hz.



Gambar 4. Sistem PLTS On Grid UNTAD

2.3 Peralatan PLTS

2.3.1 Modul Surya

Modul surya adalah kumpulan sel surya yang disusun menjadi satu rangkaian listrik. Susunan sel surya di dalam modul surya dapat berbentuk rangkaian seri maupun rangkaian paralel. Modul surya merupakan bagian dari teknologi fotovoltaik.

2.3.2 Combiner Box

Combiner box adalah panel sistem tegangan DC yang berisi switch pemisah dan fuse. Dilengkapi pula dengan surge arrester pada kedua bus positif dan negatif untukantisipasi adanya lonjakan listrik.

2.3.3 Grid Inverter

Inverter adalah “jantung” dalam sistem PLTS. Inverter berfungsi mengubah arus searah (DC) yang dihasilkan oleh panel surya menjadi arus bolak balik (AC). Tegangan DC dari panel surya cenderung tidak konstan sesuai dengan tingkat radiasi matahari. Tegangan masukan DC yang tidak konstan ini akan diubah oleh inverter menjadi tegangan AC yang konstan dan siap digunakan atau disambungkan pada sistem yang ada, yaitu jaringan PLN. Jenis Inverter High Voltage yang digunakan adalah brand SMA Sunny Tripower Core2 dengan spesifikasi seperti pada tabel 2.

Tabel 2: Spesifikasi Inverter

No	Spesifikasi Inverter	Keterangan
1	Maks. Kekuatan susunan PV	165000 Wp STC
2	Maks. Tegangan masukan	1100 V
3	Kisaran tegangan MPP	500 V to 800 V
4	Nilai tegangan masukan	585 V
5	Min. tegangan masukan/mulai tegangan masukan	200 V / 250 V
6	Maks. Arus hubung singkat per pelacak MPP	26 A (22 A < 600 V) / 40 A
7	String per pelacak MPP	12 / 2
8	Nilai daya (pada 400 V, 50Hz)	110000 W
9	Nilai/Maks. Kekuatan yang tampak	110000 VA / 110000 VA
10	Tegangan terukur	400 V
11	Rentang tegangan	320 V to 460 V
12	Frekuensi jaringan terukur	50 Hz
13	Nilai /Maks. Arus keluaran	159 A
14	Maks. efisiensi	98.6%
15	Dimensi (L / T /T)	1117 / 682 / 363 mm
16	Berat	93.5 kg (206.1 lbs)
17	Kisaran suhu pengoperasian	-30 °C to +60 °C (-22 °F to +140 °F)
18	Tingkat perlindungan (menurut IEC 60529)	IP66
19	Sambungan DC / Sambungan AC	Sunclix / terminal lug (up to 240 mm ²)
20	Emisi kebisingan, maksimum (1m)	78 db(A)

2.3.4 Panel Distribusi

Panel distribusi adalah interconnection box yang berfungsi sebagai penghubung antara output inverter, grid dan beban. Pada panel distribusi juga terdapat monitor tegangan, arus, frekuensi, daya, dan energi yang dihasilkan oleh PV dan disalurkan ke grid maupun ke beban.

2.3.5 Kabel Photovoltaic (PV)

Kabel photovoltaic (PV) dan kabel power disesuaikan dengan kebutuhan pembangkit, yang terdiri dari kabel DC dan AC. Kabel merupakan perangkat yang berfungsi sebagai media penghantar listrik untuk mendistribusikan daya dari satu tempat menuju tempat lain.

2.3 Software PVSyst

PVSYST adalah perangkat lunak simulasi yang awalnya dirancang Jenewa untuk membantu menghitung fungsi dan pengoperasian PV sistem. Alat simulasi ini membantu merancang sistem konfigurasi dan juga memungkinkan untuk mengevaluasi jumlahnya energi yang dihasilkan[13]. PVSyst digunakan untuk melakukan desain dan evaluasi terkait sistem PLTS. Software PVSyst telah digunakan dan diterima secara internasional untuk melakukan studi terhadap perencanaan dan kinerja dari sistem photovoltaic. Metode simulasi berdasarkan realisasi perjam sepanjang tahun untuk menghitung kombinasi yang tepat untuk jumlah energi maksimum antara radiasi global, kecepatan angin, dan suhu yang bersumber dari database berbagai parameter dan data radiasi dalam kurung waktu tertentu. PVSyst memiliki database baterai dan PV yang kaya dan populer. Database geografis dapat memberikan informasi yang tepat tentang penyinaran matahari dan jam insolasi suatu wilayah tertentu pada suatu negara. Grafik dan diagram yang diberikan oleh PVSyst sangat informatif, sedangkan aplikasi SolarMAT memberikan hasil yang lebih mudah dan hanya berisi fungsionalitas dasar[8].

Sebelum melakukan pengolahan data, hal penting yang harus dilakukan pada saat masuk ke dalam aplikasi PVSyst yaitu melakukan penentuan titik lokasi dimana PLTS akan dibangun. Pada tahap ini aplikasi PVSyst akan menampilkan data paparan sinar matahari, suhu, kecepatan angin serta data pendukung lainnya seperti pada gambar 5. data tersebut digunakan untuk memudahkan dalam proses pengolahan data dan simulasi yang akan dilakukan.

Site **Universitas Tadulako (Indonesia)**
 Data source **PVGIS TMY 5.2**

	Global horizontal irradiation kWh/m ² /day	Horizontal diffuse irradiation kWh/m ² /day	Temperature °C	Wind Velocity m/s	Relative humidity %
January	4.57	1.86	24.7	0.73	88.4
February	4.57	2.11	24.7	1.08	88.4
March	4.64	2.17	24.4	0.91	89.9
April	4.24	2.15	24.2	0.72	92.5
May	4.43	1.92	24.7	0.69	91.3
June	4.54	1.65	25.1	0.70	89.3
July	3.40	1.71	23.8	0.69	92.8
August	4.45	1.75	23.9	0.71	90.8
September	4.89	1.91	24.4	0.73	89.7
October	5.91	1.69	25.3	0.80	85.3
November	4.51	2.09	24.4	0.71	91.7
December	4.54	1.97	24.5	0.84	89.7
Year	4.56	1.91	24.5	0.8	90.0

Gambar 5. Data Intensitas Matahari PVSyst

3. Hasil dan Pembahasan

Penyesuaian data input dapat dilihat pada tabel 3, sehingga didapatkan hasil simulasi seperti pada tabel 4. Earray merupakan energi efektif yang keluar dari PV array. E_Grid adalah energi yang masuk ke grid sedangkan PR atau *Performance Ratio* adalah rasio hasil akhir sistem terhadap hasil referensi[14]. PR dapat didefinisikan sebagai perbandingan energi yang benar-benar di transferkan ke jaringan listrik terhadap daya nominal yang disebutkan pada nameplate PV array. Rasio Kinerja dapat memiliki nilai yang berbeda-beda tergantung pada kondisi sekitar, sistem pemasangan dan desain kelistrikan[15].

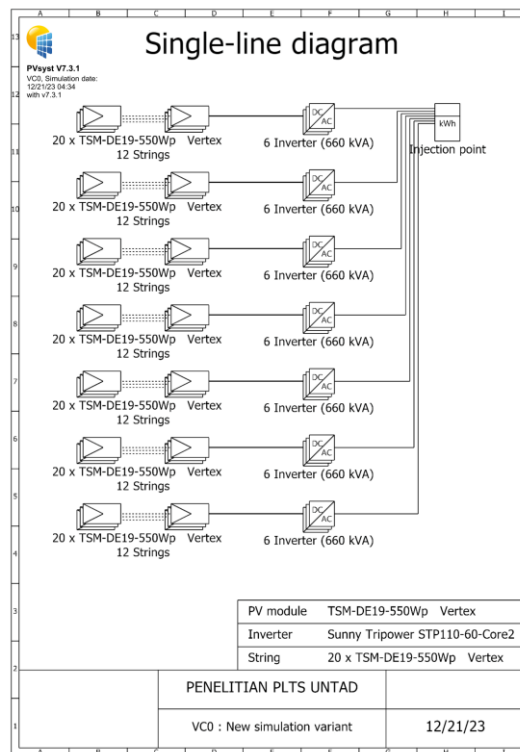
Tabel 3: Data input PLTS

Variabel	Nilai
Modul PV	TSM-DE 19-550Wp
Inverter	Sunny Tripower STP110-60-Core2
Kemiringan/tilt posisi	11 ^o
Jarak antar PV	Menghadap ke utara 1,5m

Tabel 4: Data Hasil simulasi

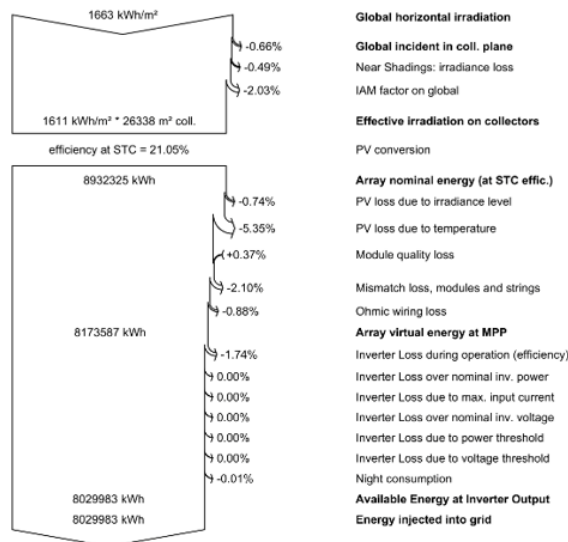
Bulan	Earray (kWh)	E_Grid (kWh)	Suhu sekitar (°C)	PR rasio
Januari	632891	643951	24.72	0.874
Februari	593228	603523	24.66	0.877
Maret	691534	703677	24.42	0.878
April	636656	647824	24.20	0.881
Mei	708114	721145	24.69	0.877
Juni	716415	729135	25.07	0.875
Juli	546666	556486	23.81	0.881
Agustus	704064	716244	23.91	0.882
September	717719	730732	24.38	0.878
Oktober	845907	861691	25.31	0.868
November	613013	623959	24.39	0.877
Desember	623776	635132	24.54	0.874
Per tahun	8173499	8029983	24.51	0.877

Daya total yang dikeluarkan oleh PV sebesar 5544 kWp dan daya total Inverter sebesar 4620 kWac dengan jumlah panel surya terpasang sebanyak 10080 unit. Jumlah daya yang dihasilkan tersebut sudah sesuai dengan perencanaan yang diinginkan oleh Universitas Tadulako. Jumlah unit PV terpasang tersebut dibagi kedalam 504 string dengan 42 unit inverter dimana setiap inverter memiliki 12 string dan setiap string pada inverter tersebut di isi oleh 20 panel surya. Single line diagram sistemnya ditunjukkan pada gambar 6.



Gambar 6. Single-line Diagram

Loss Diagram adalah digram yang memprediksi kelemahan dalam desain sistem. Pada gambar 7 menunjukkan ilustrasi rugi-rugi yang terjadi pada sistem PLTS 5MW UNTAD. Dengan efisiensi sebesar 21.05%, energi nominal array pada kondisi pengujian standart menghasilkan 8029,983 MWh/tahun.



Gambar 7. Loss Diagram

Dari penentuan modul PV, Inverter dan bahan lainnya dalam Perencanaan Pembangkit Listrik Tenaga Surya On Grid 5 MW di Universitas Tadulako, maka Rincian Anggaran Biaya yang dibutuhkan dapat dilihat pada tabel 5.

Tabel 5: RAB Perencanaan Pembangunan PLTS Di Universitas Tadulako

No	Uraian Bahan	Satuan	Koefisien	Harga		Jumlah	
				Rp		Rp	
1	Modul Surya 550 Wp	unit	10080	Rp	6,784,500.00	Rp	68,387,760,000.00
2	Inverter 110 kW	unit	42	Rp	173,540,160.00	Rp	7,288,686,720.00
3	Baut baja ringan (per kotak)	kotak	3	Rp	138,750.00	Rp	416,250.00
4	Box panel	unit	2	Rp	410,805.00	Rp	821,610.00
5	Penjepit ujung braket	pcs	40	Rp	20,250.00	Rp	810,000.00
6	Penjepit tengah braket	pcs	211	Rp	24,000.00	Rp	5,064,000.00
7	Connector atau MC4	pcs	462	Rp	8,250.00	Rp	3,811,500.00
8	Din Rail	pcs	2	Rp	23,434.50	Rp	46,869.00
9	Kabel AWG	roll	17	Rp	748,500.00	Rp	12,724,500.00
10	Kabel NYAF hitam	meter	150	Rp	252,000.00	Rp	37,800,000.00
11	Kabel NYAF coklat	meter	150	Rp	252,000.00	Rp	37,800,000.00
12	Kabel NYAF abu-abu	meter	150	Rp	252,000.00	Rp	37,800,000.00
13	Kabel NYAF biru	meter	150	Rp	252,000.00	Rp	37,800,000.00
14	Kabel NYAF hijau kuning	roll	1	Rp	1,050,000.00	Rp	1,050,000.00
15	Kabel skun 95 mm	pcs	24	Rp	39,000.00	Rp	936,000.00
16	Kabel skun 4 mm	pcs	120	Rp	600.00	Rp	72,000.00
17	Kabel tray	unit	15	Rp	252,000.00	Rp	3,780,000.00
18	MCCB 3P 200A	unit	1	Rp	1,470,000.00	Rp	1,470,000.00
19	MCB DC 2P 13 A	unit	10	Rp	600,000.00	Rp	6,000,000.00
20	Saklar transfer otomatis	unit	1	Rp	3,225,000.00	Rp	3,225,000.00
21	Braket pemasangan	pcs	110	Rp	337,500.00	Rp	37,125,000.00
22	Perangkat perlindungan lonjakan arus	unit	10	Rp	225,166.50	Rp	2,251,665.00
Jumlah Harga Bahan						Rp	75,907,251,114.00

Irwan Mahmudi (Desain, Simulasi dan Evaluasi Biaya Pembangkit Listrik Tenaga Surya 5 MW di Universitas Tadulako menggunakan Pvsyst)

4. Kesimpulan

Jenis PV yang di gunakan berdasarkan brand class tier 1 adalah Trina solar monocrystalline 550 wp, dengan Inverter high voltage yang di gunakan yaitu Sunny Tripower Core2 dari brand SMA Solar. Jumlah panel surya terpasang sebanyak 10080 unit. Jumlah unit PV tersebut dibagi kedalam 504 string dengan 42 buah inverter dimana setiap inverter terdiri dari 12 string dan setiap string pada inverter tersebut di isi oleh 20 panel surya. Daya yang dihasilkan pertahunnya berkisar antara 8029983 kWh/tahun, atau 1448 kWh/Wp/tahun dengan performance ratio (PR) sebesar 87.65%. Biaya Investasi yang dibutuhkan untuk perencanaan PLTS di Universitas Tadulako diperkirakan sebesar Rp. 75,907,251,114.00.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] R. Mar'atus Shalihah, I. Mahmudi, Y. A. Rahman, S. Maripi, and J. T. Elektro, "PENGARUH MODIFIKASI PADA ALGORITMA HILL CLIMBING UNTUK PELACAKAN TITIK DAYA MAKSIMUM PHOTOVOLTAIC MENGGUNAKAN SEPIC CONVERTER." [Online]. Available: www.jurnalteknik@unisla.ac.id/index.php/elektronika
- [2] S. Ahsan, K. Javed, A. S. Rana, and M. Zeeshan, "Design and cost analysis of 1kW photovoltaic system based on actual performance in Indian scenario," *Perspect Sci (Neth)*, vol. 8, pp. 642–644, Sep. 2016, doi: 10.1016/j.pisc.2016.06.044.
- [3] A. Shrivastava, R. Sharma, M. Kumar Saxena, V. Shanmugasundaram, M. Lal Rinawa, and Ankit, "Solar energy capacity assessment and performance evaluation of a standalone PV system using PVSYS," *Mater Today Proc*, vol. 80, pp. 3385–3392, Jan. 2023, doi: 10.1016/j.matpr.2021.07.258.
- [4] D. Dey and B. Subudhi, "Design, simulation and economic evaluation of 90 kW grid connected Photovoltaic system," *Energy Reports*, vol. 6, pp. 1778–1787, Nov. 2020, doi: 10.1016/j.egy.2020.04.027.
- [5] P. Ramanan, K. M. K., and A. Karthick, "Performance analysis and energy metrics of grid-connected photovoltaic systems," *Energy for Sustainable Development*, vol. 52, pp. 104–115, Oct. 2019, doi: 10.1016/j.esd.2019.08.001.
- [6] M. Chabook and S. Tashakor, "Design of emergency solar energy system adjacent the nuclear power plant to prevent nuclear accidents and increase safety," *Nuclear Analysis*, vol. 3, no. 1, Mar. 2024, doi: 10.1016/j.nucana.2023.100092.
- [7] "20. PROTOTYPESISTEM MONITORINGARUS DAN TEGANGAN PANEL SURYA BERBASIS IOT MENGGUNAKAN APLIKASI BLYNK".
- [8] *2015 International Conference on Green Energy & Technology (ICGET)*. Center for Natural Science & Engineering Research (CNSER), 2015.
- [9] B. Belmahdi and A. El Bouardi, "Solar potential assessment using PVSyst software in the northern zone of Morocco," in *Procedia Manufacturing*, Elsevier B.V., 2020, pp. 738–745. doi: 10.1016/j.promfg.2020.03.104.
- [10] E. Tarigan, Djuwari, and F. D. Kartikasari, "Techno-economic Simulation of a Grid-connected PV System Design as Specifically Applied to Residential in Surabaya,

- Indonesia,” in *Energy Procedia*, Elsevier Ltd, 2015, pp. 90–99. doi: 10.1016/j.egypro.2015.01.038.
- [11] “Instalasi Pembangkit Listrik Tenaga Surya Dos & Don’ts.”
- [12] “PANDUAN STUDI KELAYAKAN PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA SURYA (PLTS) TERPUSAT,” 2018. [Online]. Available: www.iced.or.id
- [13] S. A. D. Mohammadi and C. Gezezin, “Design and Simulation of Grid-Connected Solar PV System Using PVSYST, PVGIS and HOMER Software,” *International Journal of Pioneering Technology and Engineering*, vol. 1, no. 01, pp. 36–41, Jun. 2022, doi: 10.56158/jpte.2022.24.1.01.
- [14] N. M. Kumar, M. R. Kumar, P. R. Rejoice, and M. Mathew, “Performance analysis of 100 kWp grid connected Si-poly photovoltaic system using PVsyst simulation tool,” in *Energy Procedia*, Elsevier Ltd, 2017, pp. 180–189. doi: 10.1016/j.egypro.2017.05.121.
- [15] R. Kumar, C. S. Rajoria, A. Sharma, and S. Suhag, “Design and simulation of standalone solar PV system using PVsyst Software: A case study,” in *Materials Today: Proceedings*, Elsevier Ltd, 2020, pp. 5322–5328. doi: 10.1016/j.matpr.2020.08.785.