

STUDI PERANCANGAN PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA SURYA (PLTS) ROOFTOP ON GRID PADA PT. BPR BKK MANDIRAJA CABANG WANAYASA KABUPATEN BANJARNEGARA DITINJAU DARI TEKNIS DAN EKONOMI TEKNIK DENGAN MENGGUNAKAN SOFTWARE PVSYSY 7.0 DAN RETSCREEN 6.0.7

Darell Mahardhika^{1*)}, Jaka Windarta dan Enda Wista Sinuraya

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

^{*)}E-mail: hev.darell.mahardhika@gmail.com

Abstrak

Penggunaan teknologi sel surya sebagai sumber energi listrik di Indonesia masih sangat minim padahal potensi sumber energi matahari sangat melimpah. EBT mempunyai peran yang sangat penting dalam memenuhi kebutuhan energi. Dalam hal ini, energi surya merupakan alternatif energi terbarukan yang mampu menjadi salah satu solusi untuk menjadi pengganti energi fosil. Menggunakan masing-masing dua alternatif untuk komponen utama panel surya dan inverter maka terdapat 4 variasi rancangan konfigurasi komponen dalam penelitian ini. Variasi 1 menggunakan panel surya osda dengan inverter solis. Variasi 2 menggunakan panel surya osda dengan inverter sofara. Variasi 3 menggunakan panel surya risen dengan inverter solis. Variasi 4 menggunakan panel surya risen dengan inverter sofara. Melalui software PVSyst 7.0, dengan rata rata radiasi sebesar 4,16 kWh/m²/hari, potensi kinerja dari masing-masing variasi perancangan PLTS rooftop kapasitas 1200 Wp ini akan menghasilkan energi listrik sebesar 1266 kWh, 1259 kWh, 1401 kWh dan 1393 kWh. Biaya investasi masing-masing variasi perancangan PLTS pada penelitian ini adalah Rp23.072.000, Rp21.922.000, Rp24.572.000, dan Rp23.422.000 dengan nilai *Net Present Value* masing-masing variasi adalah Rp6.384.126, Rp7.631.112, Rp7.816.540, dan Rp9.023.991 dengan waktu pengembalian biaya investasi masing-masing variasi berdasarkan *discounted payback period* yang dihitung adalah 13,13 tahun, 12,83 tahun, 12,78 tahun dan 12,26 tahun.

Kata kunci: PLTS, EBT, On Grid, PVSyst 7.0, NPV, DPP

Abstract

The use of solar cell technology as a source of electrical energy in Indonesia is still very minimal, even though the potential for solar energy sources is very abundant. EBT has very important role in meeting energy needs. In this case, solar energy is a renewable energy alternative that can be solution to substitute fossil energy. Using each two alternatives for the main components of the solar panel and inverter, there are 4 variations component configuration design. Variation 1 uses OSDA solar panel with solis inverter. Variation 2 uses OSDA solar panel with sofara inverter. Variation 3 uses risen solar panel with solis inverter. Variation 4 uses risen solar panels with sofara inverters. PVSyst 7.0 software, with average radiation rate of 4.16 kWh/m²/day, potential performance each 1200 Wp rooftop solar design variations will generate electrical energy of 1266 kWh, 1259 kWh, 1401 kWh and 1393 kWh. The investment cost each variation the PLTS design in this study is Rp23,072,000, Rp21,922,000, Rp24,572,000, and Rp23,422,000 with NPV each variation is Rp6,384,126, Rp7,631,112, Rp7,816,540, and Rp9,023,991 with a period return investment costs each variation based the calculated DPP, which are 13.13 years, 12.83 years, 12.78 years and 12.26 years.

Keywords: Solar Power Plant, EBT, OnGrid, PVSyst, RetScreen

1. Pendahuluan

Berkurangnya produksi energi fosil terutama minyak bumi serta komitmen global dalam pengurangan emisi gas rumah kaca, mendorong Pemerintah untuk meningkatkan peran energi baru dan terbarukan secara terus menerus sebagai bagian dalam menjaga ketahanan dan kemandirian

energi. Sesuai PP No. 79 Tahun 2014 tentang Kebijakan Energi Nasional, target bauran energi baru dan terbarukan pada tahun 2025 paling sedikit 23% dan 31% pada tahun 2050. Indonesia mempunyai potensi energi baru terbarukan yang cukup besar untuk mencapai target bauran energi primer tersebut[1].

Pertumbuhan permintaan listrik, diproyeksikan mencapai 2.214 TWh pada tahun 2050 atau naik hampir 9 kali lipat dari permintaan listrik tahun 2018 sebesar 254,6 TWh. Laju pertumbuhan permintaan listrik rata-rata sebesar 7% per tahun selama periode 2018-2050 [1].

Salah satu pemanfaatan sumber energi terbarukan yang cukup potensial di Indonesia adalah energi sinar matahari. Indonesia merupakan negara yang secara geografis terletak tepat di garis khatulistiwa dan memberikan beragam keuntungan serta potensi besar dalam hal pemanfaatan energi matahari. Hal ini dikarenakan besarnya radiasi matahari bergantung pada letak garis lintang, kondisi atmosfer, dan posisi matahari terhadap garis khatulistiwa [2]. Indonesia mempunyai tingkat radiasi rata-rata yang relatif tinggi yaitu sebesar 4,80 kWh/m²/hari [3].

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. Untuk mempercepat pengembangan EBT, Pemerintah telah menetapkan beberapa regulasi, yaitu Peraturan Presiden No. 4 Tahun 2016 (Pasal 14) tentang Percepatan Infrastruktur Ketenagalistrikan mengutamakan pemanfaatan energi baru dan terbarukan, Peraturan Menteri ESDM No. 49 Tahun 2017 tentang Pokok-Pokok Dalam Perjanjian Jual Beli Tenaga Listrik, Peraturan Menteri ESDM No. 50 Tahun 2017 tentang Pemanfaatan Sumber Energi Terbarukan untuk Penyediaan Tenaga Listrik, dan Peraturan Menteri ESDM No. 49 Tahun 2018 tentang Penggunaan Sistem Pembangkit Listrik Tenaga Surya Atap oleh Konsumen PT Perusahaan Listrik Negara (PLN)

Salah satu solusi dalam permasalahan tersebut adalah pengimplementasian Pembangkit Listrik Tenaga Surya. Energi listrik searah dapat diperoleh langsung dari sinar matahari menggunakan perangkat *photovoltaic* (PV) berbentuk sel. Sel-sel ini mengubah energi matahari menjadi energi listrik melalui efek *photovoltaic*. Sel PV merupakan dioda tipe p-n luas yang dirakit dalam suatu modul. Instalasi pada PV, tidak memiliki bagian yang bergerak dan bergetar sehingga tidak menghasilkan suara, serta instalasi PV tidak membutuhkan menara pendingin [4]. Terdapat beberapa faktor yang mempengaruhi efisiensi daya keluaran sel surya, yaitu radiasi matahari, temperatur sel surya, orientasi panel surya, sudut kemiringan panel surya, dan pengaruh bayangan [5].

Berangkat dari kondisi tersebut, penulis melakukan perancangan Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) sebagai sumber energi listrik terbarukan yang dapat menghemat penggunaan energi fosil dan ramah lingkungan serta dapat diimplementasikan di salah satu BPR Pedesaan yaitu PT. Bank Perkreditan Rakyat BKK Mandiraja Cabang Wanayasa – Kabupaten Banjarnegara. Dengan

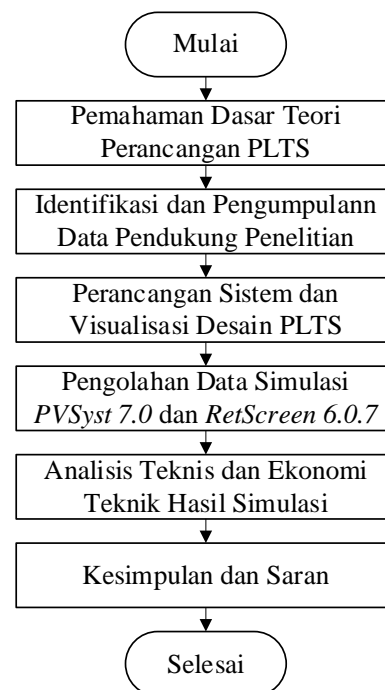
pemanfaatan energi matahari untuk PLTS maka Bank Perkreditan Rakyat pada Kecamatan Wanayasa ikut mendukung kebijakan pemerintah dalam menerapkan energi yang ramah lingkungan dan peduli terhadap penggunaan energi terbarukan.

Dalam penelitian tugas akhir ini akan dilakukan penelitian untuk merancang, menguji, dan mengimplementasikan pembangkit listrik tenaga surya rooftop berkapasitas 1200Wp dengan sistem on grid. Perancangan pembangkit listrik tenaga surya akan diterapkan di atap bank BPR BKK Mandiraja Cabang Wanayasa Kabupaten Banjarnegara untuk mengurangi konsumsi listrik PLN dengan sistem yang terhubung ke jala-jala PLN.

2. Metode

2.1. Perancangan dan Simulasi

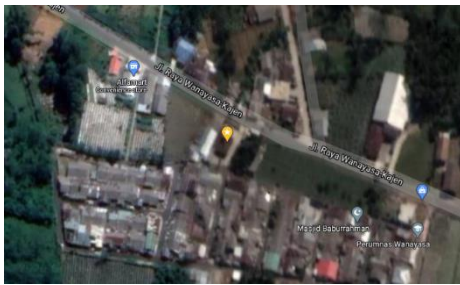
Diagram alir dari Tugas Akhir berjudul “Studi Perancangan Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) Rooftop On Grid pada PT. BPR BKK Mandiraja Banjarnegara Cabang Wanayasa ditinjau dari Teknis dan Ekonomi Teknik dengan Menggunakan Software Pvsyst 7.0 dan RetScreen 6.0.7” dapat dilihat pada Gambar 1 berikut::



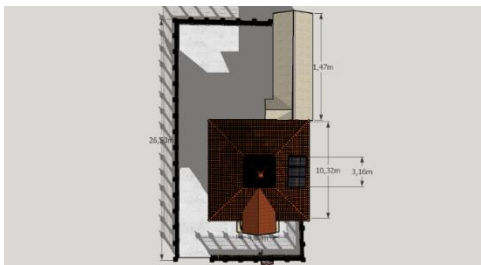
Gambar 1. Diagram Alir Penelitian

2.2. Lokasi Penelitian

Pada penelitian ini dilakukan perancangan pembangkit listrik tenaga surya di Bank BPR BKK Cabang Wanayasa yang berada di 7°14'21.9"S 109°44'44.9"E.



Gambar 2. Lokasi Penelitian



Gambar 3. Visualisasi Bangunan Penelitian

2.3. Pengambilan Data

Dalam penelitian tugas akhir ini, digunakan data meteorologi dan klimatologi yang bersumber dari NASA Prediction of Worldwide Energy Resource [6]. Adapun data yang diambil adalah sebagai berikut:

Tabel 1. Data Insolasi Matahari dan Temperatur di Kecamatan Wanayasa

Bulan	Insolasi Matahari (kWh/m ² .day)	Temperatur (°C)
January	3,86	25,86
February	3,87	25,69
March	3,85	25,40
April	4,02	26,20
May	4,44	25,79
June	4,37	24,54
July	4,10	24,22
August	4,39	25,04
September	4,30	27,00
October	4,26	28,68
November	4,81	28,85
December	3,60	27,20

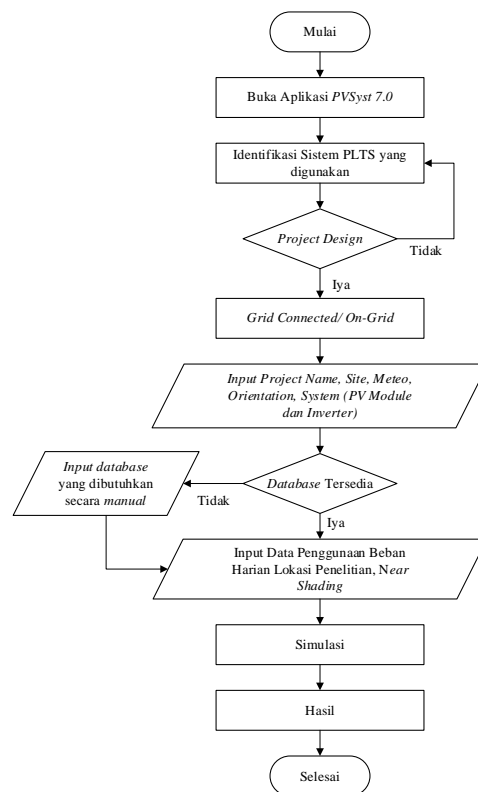
Berdasarkan data tersebut, diketahui bahwa pada tahun 2019 insolasi matahari tertinggi di lokasi penelitian adalah pada bulan November sebesar 4,81 kWh/m²/hari, untuk nilai terendah adalah pada bulan Desember sebesar 3,60 kWh/m²/hari, dan untuk rata-rata tahun 2019 adalah 4,16 kWh/m²/hari. Bulan November memiliki nilai tertinggi karena pada saat itu merupakan puncak musim kemarau sehingga insolasi matahari dapat diterima permukaan bumi lebih maksimal. Sedangkan untuk data temperatur diketahui bahwa pada tahun 2019 temperatur rata-rata per bulan di lokasi penelitian sebesar 26,20 °C, dengan suhu terendah terjadi pada bulan Juli sebesar 24,22 °C yang

bertepatan dengan musim kemarau di Indonesia dan suhu terbesar pada bulan November sebesar 28.86 °C.

2.4. Analisis Teknis

Analisis teknis yang dilakukan mengacu pada sebesar apakah kapasitas PLTS yang akan dirancang, menentukan spesifikasi komponen yang digunakan, orientasi panel surya, dan daya yang dapat dihasilkan PLTS tersebut. Daya yang dihasilkan PLTS dipengaruhi oleh berbagai faktor, diantaranya radiasi matahari yang terdapat di lokasi PLTS, kemiringan dan arah dari panel surya, ada tidaknya sinar matahari, temperatur wilayah di lokasi PLTS, dan performa teknis dari komponen yang digunakan pada PLTS [7].

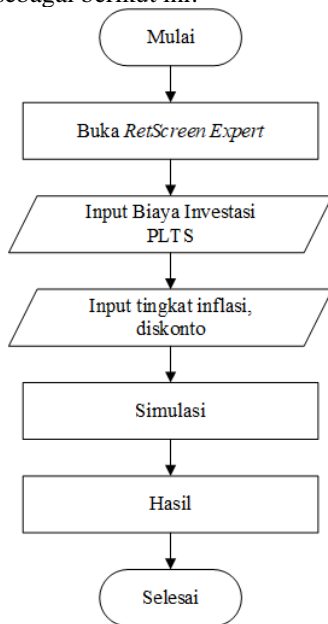
Kualitas dari suatu PLTS dapat juga ditunjukkan oleh rasio performanya. Rasio performa umumnya dinyatakan dalam persentase yang menunjukkan daya total yang dihasilkan sistem akibat adanya rugi-rugi yang dibandingkan dengan saat sistem bekerja pada kondisi STC. Rugi-rugi pada sistem PLTS mencakup rugi karena efisiensi panel surya, temperatur, dan efisiensi inverter. Pada perangkat lunak PVSyst 7.0 dapat dilakukan simulasi guna mendapatkan hasil simulasi yang dapat digunakan untuk menganalisis unjuk kerja dan potensi pembangkitan energi listrik dari perancangan PLTS *rooftop on grid* di PT. BPR BKK Mandiraja Cabang Wanayasa Kabupaten Banjarnegara, tahapan simulasi pada perangkat lunak PVSyst 7.0 memiliki diagram alir sebagai berikut ini:



Gambar 4. Diagram alir pengoperasian perangkat lunak PVSyst 7.0

2.5. Analisis Ekonomi Teknik

Secara umum analisis ekonomi teknik bisa dikatakan sebagai analisis ekonomi dari suatu investasi teknik [8]. Tujuan dari analisis ini untuk menilai kelayakan suatu proposal investasi teknis dengan melakukan kajian alternatif yang dianggap paling menguntungkan. Metode analisis ekonomi yang digunakan pada penelitian ini adalah Net Present Value (NPV) dan Metode Discounted Payback Period (DPP). Selain menggunakan perhitungan biasa, akan digunakan perangkat lunak RetScreen 6.0.7 sebagai alat bantu untuk menganalisis kelayakan ekonomi teknik dari investasi PLTS rooftop tersebut, tahapan simulasi pada perangkat lunak RetScreen memiliki diagram alir sebagai berikut ini:



Gambar 5. Diagram alir pengoperasian perangkat lunak RetScreen

Perangkat lunak RetScreen adalah perangkat lunak yang dikembangkan oleh Pemerintah Kanada. Perangkat lunak tersebut dapat memberikan identifikasi yang komprehensif, penilaian dan pengoptimalan teknis dan viabilitas finansial energi terbarukan yang potensial dan proyek efisiensi energi, juga pengukuran dan verifikasi performa aktual pada fasilitas dan identifikasi peluang penghematan/produksi energi.

2.5.1. Net Present Value (NPV)

Net Present Value (NPV) adalah metode menghitung nilai bersih pada waktu sekarang (present). Asumsi present yaitu menjelaskan waktu awal perhitungan bertepatan dengan saat evaluasi dilakukan atau pada periode tahun ke-nol (0) dalam perhitungan cash flow investasi [9]. Cash flow terdiri dari cash in dan cash out, Cash flow yang benefit saja perhitungannya disebut dengan Present Worth of Benefit (PWB), sedangkan jika yang diperhitungkan

hanya cash out (cost) disebut dengan Present Worth of Cost (PWC). Sementara itu, NPV diperoleh dari PWB-PWC. Untuk menghitung nilai PWB, PWC, dan NPV digunakan persamaan sebagai berikut:

$$PWB = \sum_{t=0}^n Cb_t(FBP)_t \quad (1)$$

$$PWC = \sum_{t=0}^n Cc_t(FBP)_t \quad (2)$$

$$NPV = PWB - PWC \quad (3)$$

Dimana Cb adalah Cash Flow Benefit, Cc adalah Cash flow cost, FBP adalah Faktor Bunga Present, t adalah periode waktu dan n adalah umur investasi.

Untuk mengetahui apakah rencana suatu investasi tersebut layak ekonomis atau tidak, diperlukan suatu ukuran/kriteria tertentu dalam metode NPV yaitu:

1. NPV lebih dari 0, artinya investasi layak (feasible) [9].
2. NPV kurang dari 0, artinya investasi tidak layak (unfeasible) [9].

2.5.2. Discounted Payback Period (DPP)

Discounted payback period (DPP) adalah waktu yang dibutuhkan untuk mengembalikan nilai investasi, yang dihitung dengan menggunakan faktor bunga present dalam perhitungannya. Cara perhitungan DPP adalah dengan menghitung waktu yang dibutuhkan (tahun) agar arus kas bersih nilai sekarang kumulatif yang ditaksir akan sama dengan investasi awal.

Untuk menghitung discounted payback period digunakan persamaan sebagai berikut:

$$k_{(DPP)} = \sum_{t=0}^k CF_t(FBP)_t \geq 0 \quad (4)$$

Dimana k adalah periode pengembalian, CFt adalah Cash flow periode ke-t, dan FBP adalah Faktor Bunga Present. Bila periode waktu DPP lebih pendek dari umur proyek maka investasi proyek akan dinilai layak dan bila periode waktu DPP lebih panjang dari umur proyek maka investasi proyek dinilai belum layak.

3. Hasil dan Pembahasan

3.1. Hasil Simulasi

Tabel 2. Alternatif konfigurasi komponen PLTS rooftop

Variasi	Panel Surya	Inverter	Konfigurasi Array
1	OSDA Monocrystalline 400 Wp Voc (49,44 V) Isc (10,86 A)	SOLIS Mini 1500 4G Max Vin (600 V) Max lin (12 A)	3 modul dipasang secara seri. Voc (148,3 V) Isc (10,98 A)
	OSDA Monocrystalline 400 Wp Voc (49,44 V) Isc (10,86 A)	Sofar 1600TL Max Vin (500 V) Max lin (12 A)	3 modul dipasang secara seri. Voc (148,3 V) Isc (10,86 A)
	Risen Monocrystalline 400 Wp Voc (48,6 V) Isc (10,6 A)	SOLIS Mini 1500 4G Max Vin (500 V) Max lin (11 A)	3 modul dipasang secara seri. Voc (145,8 V) Isc (10,6 A)
4	Risen Monocrystalline 400 Wp Voc (48,6 V) Isc (10,6 A)	Sofar 1600TL Max Vin (500 V) Max lin (12 A)	3 modul dipasang secara seri. Voc (145,8 V) Isc (10,6 A)

Konfigurasi komponen sistem PLTS *rooftop* yang akan di simulasikan memiliki 4 variasi konfigurasi yang dapat dilihat pada tabel 2.

Hasil simulasi PVSyst 7.0 pada perencanaan PLTS *rooftop on grid* variasi 1,2,3 dan 4 dapat dilihat pada gambar di bawah ini.

	GlobHor	DiffHor	T_Amb	GlobInc	GlobEff	EArray	E_User	E_Solar	E_Grid	EfrGrid
	kWh/m ²	kWh/m ²	°C	kWh/m ²	kWh/m ²	kWh	kWh	kWh	kWh	kWh
January	119.8	76.77	20.60	108.6	102.2	100.6	335.4	66.26	29.50	269.1
February	108.3	71.65	20.36	102.4	97.3	96.1	301.7	56.64	34.99	245.1
March	119.2	69.14	20.90	107.6	102.5	100.5	335.4	63.34	32.43	272.0
April	120.6	66.62	21.19	113.5	108.7	107.1	321.0	61.03	41.34	260.0
May	137.7	65.50	21.59	127.7	122.5	120.9	335.4	76.00	39.86	259.4
June	131.0	59.43	20.82	122.1	117.1	116.0	324.1	74.54	36.65	249.6
July	127.2	59.92	20.67	119.4	114.5	113.1	332.2	65.94	42.24	266.3
August	136.1	64.88	20.61	128.6	123.9	122.6	335.4	74.59	42.86	260.8
September	129.0	73.19	21.02	120.3	114.9	113.2	321.0	67.44	40.94	253.6
October	132.0	78.90	21.67	121.2	114.9	112.8	335.4	71.74	36.11	263.6
November	144.3	83.99	21.18	134.4	127.4	125.9	324.1	77.31	43.48	246.8
December	111.6	70.76	20.87	103.5	97.6	95.7	332.2	59.17	31.93	273.1
Year	1516.9	840.75	20.96	1409.3	1343.5	1324.4	3933.3	814.00	452.34	3119.3

Gambar 6. Hasil simulasi PLTS rooftop variasi 1

Berdasarkan gambar 6, energi listrik yang dihasilkan array surya variasi 1 adalah sebesar 1.516,9 kWh, kemudian dikonversi menjadi listrik AC oleh inverter, energi listrik yang dihasilkan berkurang menjadi 840,76 kWh yang disebabkan efisiensi dari inverter itu sendiri. Energi listrik yang dihasilkan sebesar 814,0 kWh digunakan untuk suplai beban rumah dan 452,34 kWh sisanya disalurkan ke grid.

	GlobHor	DiffHor	T_Amb	GlobInc	GlobEff	EArray	E_User	E_Solar	E_Grid	EfrGrid
	kWh/m ²	kWh/m ²	°C	kWh/m ²	kWh/m ²	kWh	kWh	kWh	kWh	kWh
January	119.8	76.77	20.60	108.6	102.2	100.4	335.4	65.82	29.19	269.5
February	108.3	71.65	20.36	102.4	97.3	96.1	301.7	56.24	34.87	245.5
March	119.2	69.14	20.90	107.6	102.5	100.5	335.4	62.95	32.20	272.4
April	120.6	66.62	21.19	113.5	108.7	107.0	321.0	60.67	41.11	260.3
May	137.7	65.50	21.59	127.7	122.5	120.8	335.4	75.70	39.70	259.7
June	131.0	59.43	20.82	122.1	117.1	116.0	324.1	74.25	36.51	249.9
July	127.2	59.92	20.67	119.4	114.5	113.1	332.2	65.60	42.13	266.6
August	136.1	64.88	20.61	128.7	123.8	122.5	335.4	74.29	42.69	261.1
September	129.0	73.19	21.02	120.3	114.9	113.1	321.0	67.13	40.64	253.9
October	132.0	78.90	21.67	121.2	114.9	112.7	335.4	71.35	35.86	264.0
November	144.3	83.99	21.18	134.4	127.3	125.8	324.1	76.98	43.22	247.2
December	111.6	70.76	20.87	103.5	97.6	95.6	332.2	58.70	31.64	273.5
Year	1516.9	840.75	20.96	1409.3	1343.4	1323.5	3933.3	809.68	449.77	3123.6

Gambar 7. Hasil simulasi PLTS rooftop variasi 2

Berdasarkan gambar 7, energi listrik yang dihasilkan array surya variasi 2 adalah sebesar 1.516,9 kWh, kemudian setelah dikonversi menjadi listrik AC oleh inverter, energi listrik yang dihasilkan berkurang menjadi 840,75 kWh yang disebabkan efisiensi dari inverter itu sendiri dengan pembagian 809,68 kWh digunakan untuk suplai beban rumah dan 449,77 kWh sisanya disalurkan ke grid.

	GlobHor	DiffHor	T_Amb	GlobInc	GlobEff	EArray	E_User	E_Solar	E_Grid	EfrGrid
	kWh/m ²	kWh/m ²	°C	kWh/m ²	kWh/m ²	kWh	kWh	kWh	kWh	kWh
January	119.8	76.77	20.60	108.6	103.0	112.1	335.4	71.35	35.75	264.0
February	108.3	71.65	20.36	102.4	97.9	106.6	301.7	61.32	40.63	240.4
March	119.2	69.14	20.90	107.6	103.2	111.3	335.4	68.37	37.93	267.0
April	120.6	66.62	21.19	113.5	109.4	117.9	321.0	65.13	47.83	255.9
May	137.7	65.50	21.59	127.7	123.4	133.1	335.4	79.91	47.89	255.5
June	131.0	59.43	20.82	122.1	118.0	127.9	324.1	78.71	44.15	245.4
July	127.2	59.92	20.67	119.4	115.4	124.7	332.2	70.76	48.86	261.5
August	136.1	64.88	20.61	128.7	124.6	134.2	335.4	78.57	50.31	256.8
September	129.0	73.19	21.02	120.3	115.6	124.5	321.0	71.60	47.87	249.4
October	132.0	78.90	21.67	121.2	115.7	124.5	335.4	76.54	42.83	258.8
November	144.3	83.99	21.18	134.4	128.2	138.3	324.1	81.84	51.05	242.3
December	111.6	70.76	20.87	103.5	98.3	106.7	332.2	64.59	37.25	267.6
Year	1516.9	840.75	20.96	1409.3	1352.9	1462.0	3933.3	868.68	532.36	3064.6

Gambar 8. Hasil simulasi PLTS rooftop variasi 3

Berdasarkan gambar 8, energi listrik yang dihasilkan array surya variasi 3 adalah sebesar 1.516,9 kWh, kemudian setelah dikonversi menjadi listrik AC oleh inverter, energi listrik yang dihasilkan berkurang menjadi 840,75 kWh yang disebabkan efisiensi dari inverter itu sendiri dengan pembagian 868,68 kWh digunakan untuk suplai beban rumah dan 532,36 kWh sisanya disalurkan ke grid.

	GlobHor	DiffHor	T_Amb	GlobInc	GlobEff	EArray	E_User	E_Solar	E_Grid	EfrGrid
	kWh/m ²	kWh/m ²	°C	kWh/m ²	kWh/m ²	kWh	kWh	kWh	kWh	kWh
January	119.8	76.77	20.60	108.6	103.0	111.9	335.4	70.97	35.33	264.4
February	108.3	71.65	20.36	102.4	97.9	106.6	301.7	60.94	40.50	240.8
March	119.2	69.14	20.90	107.6	103.2	111.1	335.4	68.01	37.56	267.4
April	120.6	66.62	21.19	113.5	109.4	117.7	321.0	64.79	47.52	256.2
May	137.7	65.50	21.59	127.7	123.4	133.0	335.4	79.65	47.68	255.7
June	131.0	59.43	20.82	122.1	118.0	127.9	324.1	78.42	44.00	245.7
July	127.2	59.92	20.67	119.4	115.4	124.7	332.2	70.43	48.73	261.8
August	136.1	64.88	20.61	128.7	124.6	134.2	335.4	78.29	50.11	257.1
September	129.0	73.19	21.02	120.3	115.6	124.3	321.0	71.31	47.43	249.7
October	132.0	78.90	21.67	121.2	115.7	124.3	335.4	76.21	42.47	259.2
November	144.3	83.99	21.18	134.4	128.2	138.0	324.1	81.58	50.68	242.6
December	111.6	70.76	20.87	103.5	98.3	106.4	332.2	64.17	36.85	268.1
Year	1516.9	840.75	20.96	1409.3	1352.9	1460.3	3933.3	864.75	528.87	3068.5

Gambar 9. Hasil simulasi PLTS rooftop variasi 4

Berdasarkan gambar 9, energi listrik yang dihasilkan array surya variasi 4 adalah sebesar 1.516,9 kWh, kemudian setelah dikonversi menjadi listrik AC oleh inverter, energi listrik yang dihasilkan berkurang menjadi 840,75 kWh yang disebabkan efisiensi dari inverter itu sendiri dengan pembagian 864,75 kWh digunakan untuk suplai beban rumah dan 528,87 kWh sisanya disalurkan ke Grid.

3.2. Analisis Teknis

Berdasarkan hasil simulasi perangkat lunak PVSyst 7.0 PLTS rooftop *on grid* di lokasi penelitian dengan berbagai variasi dapat dibuat tabel 3 sebagai berikut.

Tabel 3. Perbandingan Hasil Simulasi PLTS Rooftop Variasi 1,2,3 dan 4

Variasi	Insolasi Matahari Pada Panel Surya (kWh/m ²)	Energi Listrik Array STC (kWh)	Energi Listrik Keluaran Array (kWh)	Energi Listrik Keluaran Inverter	Rasio Kinerja
1	1409,3	1613,2	1324,5	1266,4	74,9
2	1409,3	1614,6	1323,5	1259,5	74,5
3	1409,3	1645,0	1462,0	1401,0	81,8
4	1409,3	1645,0	1460,3	1393,6	81,4

Berdasarkan tabel 3 produksi energi listrik array surya pada kondisi STC melalui simulasi variasi 1 dan 2 lebih kecil nilainya yaitu 1613,2 kWh per tahun dan 1614,6 kWh dibandingkan dengan simulasi variasi 3 dan 4 yaitu 1645 kWh per tahun. Selisih ini diakibatkan dari perbedaan efisiensi dan luas permukaan dari masing-masing panel surya yang digunakan, variasi 1 dan 2 menggunakan panel surya merk OSDA dengan efisiensi sebesar 19,83% dengan luas array 6,048 m², sedangkan variasi 3 dan 4 menggunakan panel surya merk Risen tipe RSM-144-6-400-P dengan efisiensi sebesar 19,9 % dengan luas array 6,021 m². Sehingga dapat dikatakan bahwa efisiensi panel surya dan luas dari panel surya mempengaruhi energi listrik yang dapat dihasilkan panel surya. Semakin besar efisiensi, semakin besar energi listrik yang dihasilkan dan semakin besar luas dari panel surya, maka semakin besar pula energi listrik yang dapat dihasilkan panel tersebut. Tipe panel surya monocrystalline umumnya memiliki efisiensi lebih besar dibandingkan dengan tipe *polycrystalline*, hal ini dikarenakan penggunaan bahan utama pembuatan panel yaitu silikon lebih besar konsentrasinya pada panel dengan tipe *monocrystalline* dibandingkan dengan panel dengan tipe *polycrystalline* sehingga efisiensinya lebih besar [10]. Namun demikian untuk daya nominal yang sama, luas panel surya tipe monocrystalline umumnya lebih kecil dibandingkan dengan panel surya tipe polycrystalline.

Selanjutnya energi listrik keluaran array selama satu tahun pada variasi 1 dan 2 mengalami rugi-rugi dari kondisi STC sebesar 145 kWh atau 10,98 % dari kondisi STC sehingga energi listrik yang dihasilkan menjadi 1324 kWh dan 1323 kWh, sedangkan energi listrik keluaran array pada variasi 3 dan 4 selama satu tahun mengalami rugi-rugi sebesar 166 kWh atau 11,38 % dari kondisi STC sehingga energi listrik yang dihasilkan menjadi 1462 kWh dan 1460 kWh. Sehingga dapat dikatakan bahwa tipe panel surya yang digunakan memiliki karakteristik rugi-rugi yang hampir sama hanya terpaut 0,4%.

Jika variasi 1 dan 2 dibandingkan, dengan daya keluaran array surya yang sama, energi listrik keluaran inverter pada variasi 1 lebih besar dibandingkan pada variasi 2, hal ini disebabkan karena pada variasi 1, inverter yang digunakan adalah merk SOLIS Mini 1500 4G dengan rating efisiensi sebesar 97,2%, lebih besar dibandingkan efisiensi inverter

pada variasi 2 dengan merk Sofar Solar tipe SOFAR 1600TL dengan rating efisiensi sebesar 97%.

Hal yang sama juga dapat dilihat pada variasi 3 dan 4, energi listrik keluaran inverter pada variasi 3 lebih besar dibandingkan pada variasi 4, hal ini disebabkan karena pada variasi 3, inverter yang digunakan adalah merk SOLIS Mini 1500 4G dengan rating efisiensi sebesar 97,2%, lebih besar dibandingkan efisiensi inverter pada variasi 3 dengan merk Sofar Solar tipe SOFAR 1600TL dengan rating efisiensi sebesar 97%. Sehingga dapat dikatakan bahwa inverter dengan efisiensi lebih besar akan menghasilkan energi listrik yang lebih besar pula.

Jika dilihat dari rasio kinerja dari masing-masing variasi, variasi dengan rasio kinerja terbesar adalah variasi 3 yaitu sebesar 81,8% dan variasi yang memiliki rasio kinerja terkecil adalah variasi 2 yaitu sebesar 74,5%.

3.3. Analisis Ekonomi Teknis

Tabel 4. Biaya Investasi Awal Sistem PLTS Variasi 1

Nama Komponen	Jumlah	Satuan	Harga	Total Harga
Panel Surya OSDA	3	Modul	Rp 2.840.000	Rp 8.520.000
Inverter Solis	1	Buah	Rp 9.500.000	Rp 9.500.000
Penyangga Panel Surya	1	set	Rp 1.072.000	Rp 1.072.000
Pembumian Panel Surya	1	set	Rp 425.000	Rp 425.000
Kabel	1	set	Rp 460.000	Rp 460.000
Proteksi	1	set	Rp 445.000	Rp 445.000
Jasa dan lain-lain	1	set	Rp 2.650.000	Rp 2.650.000
Total				Rp 23.072.000

Tabel 5. Biaya Investasi Awal Sistem PLTS Variasi 2

Nama Komponen	Jumlah	Satuan	Harga	Total Harga
Panel Surya OSDA	3	Modul	Rp 2.840.000	Rp 8.520.000
Inverter Sofar	1	Buah	Rp 8.350.000	Rp 8.350.000
Penyangga Panel Surya	1	set	Rp 1.072.000	Rp 1.072.000
Pembumian Panel Surya	1	set	Rp 425.000	Rp 425.000
Kabel	1	set	Rp 460.000	Rp 460.000
Proteksi	1	set	Rp 445.000	Rp 445.000
Jasa dan lain-lain	1	set	Rp 2.650.000	Rp 2.650.000
Total				Rp 21.922.000

Kelayakan investasi PLTS Rooftop yang akan dirancang di lokasi penelitian ditentukan berdasarkan nilai *Net Present Value* (NPV) dan Metode *Discounted Payback Period* (DPP). Hasil simulasi dipengaruhi oleh biaya total investasi yang harus dikeluarkan, biaya operasional, biaya penghematan serta penjualan energi listrik, discount rate, dan nilai inflasi. Biaya total investasi masing-masing

variasi didapat dari survei ke toko offline di area Kota Semarang maupun toko *online* di berbagai *e-commerce* di Indonesia sedangkan *discount rate* dan nilai inflasi didapat dari laman resmi Bank Indonesia [11].

Biaya investasi untuk masing-masing komponen pada perancangan sistem PLTS rooftop *on grid* variasi 1,2,3 dan 4 di lokasi penelitian dapat dilihat pada tabel 4, tabel 5, tabel 6, dan tabel 7.

Tabel 6. Biaya Investasi Awal Sistem PLTS Variasi 3

Nama Komponen	Jumlah	Satuan	Harga	Total Harga
Panel Surya Risen	3	Modul	Rp 3.340.000	Rp 10.020.000
Inverter Solis	1	Buah	Rp 9.500.000	Rp 9.500.000
Penyangga Panel Surya	1	set	Rp 1.072.000	Rp 1.072.000
Pembumian Panel Surya	1	set	Rp 425.000	Rp 425.000
Kabel Proteksi	1	set	Rp 460.000	Rp 460.000
Jasa dan lain-lain	1	set	Rp 445.000	Rp 445.000
Jasa dan lain-lain	1	set	Rp 2.650.000	Rp 2.650.000
Total				Rp 24.572.000

Tabel 7. Biaya Investasi Awal Sistem PLTS Variasi 4

Nama Komponen	Jumlah	Satuan	Harga	Total Harga
Panel Surya Risen	3	Modul	Rp 3.340.000	Rp 10.020.000
Inverter Sofar	1	Buah	Rp 8.350.000	Rp 8.350.000
Penyangga Panel Surya	1	set	Rp 1.072.000	Rp 1.072.000
Pembumian Panel Surya	1	set	Rp 425.000	Rp 425.000
Kabel Proteksi	1	set	Rp 460.000	Rp 460.000
Jasa dan lain-lain	1	set	Rp 445.000	Rp 445.000
Jasa dan lain-lain	1	set	Rp 2.650.000	Rp 2.650.000
Total				Rp 23.422.000

Biaya operasional dan pemeliharaan setiap tahunnya untuk sistem PLTS umumnya diperhitungkan sebesar 1-2% [12] dari total biaya investasi awal untuk komponen sistem PLTS sehingga biaya operasional per tahun untuk sistem PLTS rooftop *on grid* variasi 1,2,3 dan 4 dapat dilihat pada tabel 8, tabel 9, tabel 10, dan tabel 11 berikut.

Tabel 8. Biaya Operasional dan Pemeliharaan PLTS Variasi 1

Nama Komponen	Jumlah	Satuan	Harga	Total Harga
O&M Panel Surya	1	Tahun	Rp85,200	Rp85,200
O&M Inverter O&M	1	Tahun	Rp95,000	Rp95,000
Penyangga Panel Surya O&M	1	Tahun	Rp10,720	Rp10,720
Pembumian Panel Surya	1	Tahun	Rp4,250	Rp4,250
O&M Kabel	1	Tahun	Rp4,600	Rp4,600
O&M Proteksi	1	Tahun	Rp4,450	Rp4,450
Total				Rp204.220

Tabel 9. Biaya Operasional dan Pemeliharaan PLTS Variasi 2

Nama Komponen	Jumlah	Satuan	Harga	Total Harga
O&M Panel Surya	1	Tahun	Rp85,200	Rp85,200
O&M Inverter O&M	1	Tahun	Rp83,500	Rp83,500
Penyangga Panel Surya O&M	1	Tahun	Rp10,720	Rp10,720
Pembumian Panel Surya	1	Tahun	Rp4,250	Rp4,250
O&M Kabel	1	Tahun	Rp4,600	Rp4,600
O&M Proteksi	1	Tahun	Rp4,450	Rp4,450
Total				Rp192.720

Tabel 10. Biaya Operasional dan Pemeliharaan PLTS Variasi 3

Nama Komponen	Jumlah	Satuan	Harga	Total Harga
O&M Panel Surya	1	Tahun	Rp100,200	Rp100,200
O&M Inverter O&M	1	Tahun	Rp95,000	Rp95,000
Penyangga Panel Surya O&M	1	Tahun	Rp10,720	Rp10,720
Pembumian Panel Surya	1	Tahun	Rp4,250	Rp4,250
O&M Kabel	1	Tahun	Rp4,600	Rp4,600
O&M Proteksi	1	Tahun	Rp4,450	Rp4,450
Total				Rp219.220

Tabel 11. Biaya Operasional dan Pemeliharaan PLTS Variasi 4

Nama Komponen	Jumlah	Satuan	Harga	Total Harga
O&M Panel Surya	1	Tahun	Rp100,200	Rp100,200
O&M Inverter O&M	1	Tahun	Rp83,500	Rp83,500
Penyangga Panel Surya O&M	1	Tahun	Rp10,720	Rp10,720
Pembumian Panel Surya	1	Tahun	Rp4,250	Rp4,250
O&M Kabel	1	Tahun	Rp4,600	Rp4,600
O&M Proteksi	1	Tahun	Rp4,450	Rp4,450
Total				Rp207.720

Menurut Peraturan Menteri ESDM Nomor 49 Tahun 2018 pasal 6 disebutkan bahwa energi listrik pelanggan PLTS atap yang diekspor ke jaringan PLN dihitung berdasarkan kWh ekspor yang tercatat pada meter kWh ekspor-impur dikalikan 65% dari tarif listrik yang berlaku[13]. Karena bangunan lokasi penelitian masuk dalam golongan S1, sehingga tarif yang berlaku adalah Rp 1.467/kWh. Sehingga 65% dari Rp1.467/kWh adalah Rp 953,55/kWh, sehingga penghematan listrik dan penjualan listrik variasi 1, 2, 3 dan 4 tiap tahunnya dapat dilihat pada tabel 12, tabel 13, tabel 14 dan tabel 15 sebagai berikut.

Tabel 12. Pendapatan PLTS Variasi 1

Nama Komponen	Jumlah	Satuan	Harga	Total Harga
Penghematan Energi Listrik	814	kWh	Rp 1.467	Rp1.194.138
Penjualan Energi Listrik	452	kWh	Rp 953,55	Rp431.005

Tabel 13. Pendapatan PLTS Variasi 2

Nama Komponen	Jumlah	Satuan	Harga	Total Harga
Penghematan Energi Listrik	810	kWh	Rp 1.467	Rp1.188.270
Penjualan Energi Listrik	451	kWh	Rp 953,55	Rp430.051

Tabel 14. Pendapatan PLTS Variasi 3

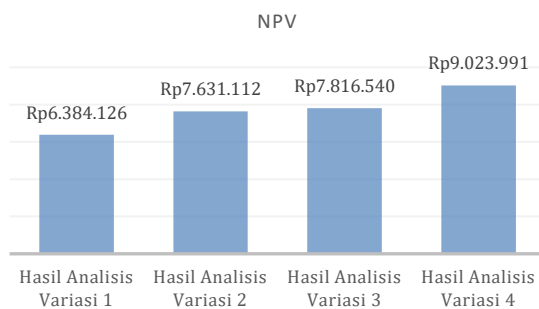
Nama Komponen	Jumlah	Satuan	Harga	Total Harga
Penghematan Energi Listrik	868	kWh	Rp 1.467	Rp1.273.356
Penjualan Energi Listrik	533	kWh	Rp 953,55	Rp508.242

Tabel 15. Pendapatan PLTS Variasi 4

Nama Komponen	Jumlah	Satuan	Harga	Total Harga
Penghematan Energi Listrik	864	kWh	Rp 1.467	Rp1.267.488
Penjualan Energi Listrik	530	kWh	Rp 953,55	Rp505.382

Tabel 16. Perbandingan Analisis Ekonomi Teknik Variasi 1,2,3 dan 4

Metode	Variasi 1	Variasi 2	Variasi 3	Variasi 4
NPV	Rp6,384,126	Rp7,631,112	Rp7,816,540	Rp9,023,991
DPP	13.13	12.83	12.78	12.26

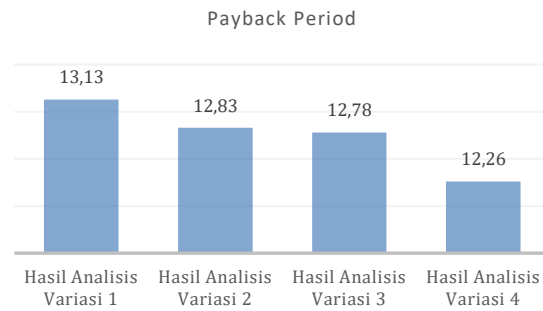


Gambar 10. Perbandingan Nilai NPV Variasi 1,2,3 dan 4

Penghematan energi listrik yang dimaksud adalah energi listrik yang dihasilkan panel surya [14] dan dipakai sendiri untuk menyuplai kebutuhan beban bank BPR BKK Mandiraja Cabang Wanayasa sesuai dengan hasil simulasi pada perangkat lunak PVSyst 7.0. Sedangkan penjualan

energi listrik yang dimaksud adalah energi listrik yang dihasilkan panel surya dan disalurkan kepada jala-jala atau grid PLN.

Berdasarkan data-data diatas, analisis ekonomi teknik PLTS rooftop *on grid* di lokasi penelitian pada variasi 1,2,3 dan 4 dapat dibuat pada tabel 16.



Gambar 11. Perbandingan Nilai DPP Variasi 1,2,3 dan 4

Berdasarkan tabel 16 dan gambar 10 terlihat nilai NPV pada masing-masing variasi bernilai lebih dari 0 sehingga dapat dikatakan bahwa investasi PLTS rooftop *on grid* untuk masing-masing variasi layak dilaksanakan[15].

Berdasarkan tabel 16 dan gambar 11, nilai DPP pada masing-masing variasi bernilai kurang dari umur proyek yaitu 25 tahun sehingga dapat dikatakan bahwa investasi PLTS rooftop *on grid* untuk masing-masing variasi layak dilaksanakan, dimana investasi dengan nilai DPP terkecil adalah variasi 4 sehingga investasi yang paling cepat mengalami pengembalian biaya investasi adalah investasi variasi 4.

4. Kesimpulan

PLTS yang dirancang pada penelitian ini memiliki 4 variasi konfigurasi yang masing-masing berkapasitas 1200 Wp dengan inverter 1,5 kW.

Energi listrik yang dihasilkan dari PLTS rooftop *on grid* ini berkisar antara 1266-1401 kWh dengan rasio kinerja berkisar antara 74,5-81,8 %.

Dari sisi ekonomi teknik, masing-masing variasi dari perancangan PLTS rooftop *on grid* ini layak untuk dilaksanakan karena memiliki nilai NPV diatas 0 dan nilai DPP dibawah 25 tahun, investasi dengan waktu pengembalian modal tercepat adalah variasi 4, karena memiliki nilai DPP terkecil yaitu 12,26 tahun.

Referensi

[1]. S. Suharyati, S. H. Pambudi, J. L. Wibowo, and N. I. Pratiwi, "Outlook Energi Indonesia 2019," 2019.

- [2]. A. K. Abu, I. Muslih, and M. A. Barghash, "Life Cycle Costing of PV Generation System," *J. Appl. Res. Ind. Eng.*, vol. 4, no. 3, pp. 185–191, 2020, doi: 10.22105/jarie.2017.54726.
- [3]. Bien, L. E., *Perancangan Sistem Hibrid Pembangkit Listrik Tenaga Surya dengan Jala-jala Listrik PLN untuk Rumah Perkotaan*, Universitas Trisakti, 2008.
- [4]. Bachtiar, Muhammad, "Prosedur Perancangan Sistem Pembangkit Listrik Tenaga Surya untuk Perumahan (Solar Home System)", *SMARTek*, vol.4, no.3, pp. 176-182, 2006.
- [5]. Berenguel, Camacho, Rubio, Martinez. "Control of Solar Energy Systems", Springer, 2012.
- [6]. "NASA Prediction of Worldwide Energy Resources." [Online]. Available: <https://power.larc.nasa.gov/data-access-viewer/>. [Accessed: 12-Sept-2020].
- [7]. *Utility-Scale Solar Photovoltaic Power Plants a Project Developer's Guide*. Washington, D.C., 2015.
- [8]. I. N. Pujawan, *Ekonomi Teknik Edisi 3*. Yogyakarta: Lautan Pustaka, 2019.
- [9]. M. Giatman, *Ekonomi Teknik*, 3rd ed. Jakarta: PT RajaGrafindo Persada, 2011.
- [10]. A. Mohammad Bagher, "Types of Solar Cells and Application," *Am. J. Opt. Photonics*, vol. 3, no. 5, p. 94, 2015, doi: 10.11648/j.ajop.20150305.17.
- [11]. "Monetary Data Bank Indonesia." [Online]. Available: <https://www.bi.go.id/en/moneter/Contents/Default.aspx>.
- [12]. M. A. Ridho, B. Winardi, and A. Nugroho, "ANALISIS POTENSI DAN UNJUK KERJA PERENCANAAN PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA SURYA (PLTS) DI DEPARTEMEN TEKNIK ELEKTRO UNIVERSITAS DIPONEGORO MENGGUNAKAN SOFTWARE PVSYSY 6.43."
- [13]. A. G. Wicaksana and B. Winardi, "Analisa Pengaruh Perubahan Temperatur dan Irradiasi pada Tegangan, Arus, dan Day keluaran PLTS," *TRANSIENT J. Ilm. Tek. Elektro UNDIP*, vol. 6, no. 2, pp. 1–8, 2016.
- [14]. A. Asrori and E. Yudiyanto, "Kajian Karakteristik Temperatur Permukaan Panel terhadap Performansi Instalasi Panel Surya Tipe Mono dan Polikristal," *Flywheel J. Tek. Mesin Untirta*, vol. V, no. 2, pp. 68–74, 2019.
- [15]. King, Boyson, & Kratochvil, *Analysis of Factors Influencing The Annual Energy Production of Photovoltaic Systems*, IEEE, 2002.