

STUDI PERANCANGAN PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA SURYA ROOFTOP KAPASITAS 1215 WP DENGAN SISTEM ON GRID SKALA RUMAH TANGGA STUDI KASUS PERUMAHAN SAMBIROTO ASRI KOTA SEMARANG DITINJAU DARI TEKNIS DAN EKONOMI TEKNIK

Dimas Adi Satrio^{1*)}, Jaka Windarta¹ dan Singgih Saptadi²

¹Departemen Teknik Elektro, Universitas Diponegoro, Semarang.

²Departemen Teknik Industri, Universitas Diponegoro, Semarang.

Jl. Prof. Sudharto, SH, Kampus UNDIP Tembalang, Semarang 50275, Indonesia

*) E-mail: dimasadi@students.undip.ac.id

Abstrak

Memanfaatkan atap rumah sebagai lahan pembangkit listrik tenaga surya sistem on grid bisa menjadi solusi yang efektif dan efisien pelanggan PLN untuk mengurangi tagihan listrik. Penelitian ini bertujuan untuk merancang dan menganalisis potensi PLTS rooftop kapasitas 1215 Wp dengan sistem on grid skala rumah tangga ditinjau dari sisi teknis dan ekonomi teknik. Terdapat 4 variasi rancangan konfigurasi komponen dalam penelitian ini. Variasi 1 menggunakan panel surya canadian solar dengan inverter solax. Variasi 2 menggunakan panel surya canadian solar dengan inverter sofara. Variasi 3 menggunakan panel surya risen dengan inverter solax. Variasi 4 menggunakan panel surya risen dengan inverter sofara. Melalui software PVSyst 6.43, potensi kinerja dari masing-masing variasi perancangan PLTS rooftop kapasitas 1215 Wp skala rumah tangga ini akan menghasilkan energi listrik sebesar 1873 kWh, 1893 kWh, 1865 kWh dan 1885 kWh. Biaya investasi masing-masing variasi perancangan PLTS pada penelitian ini adalah Rp25.220.000, Rp25.520.000, Rp26.720.000, dan Rp27.020.000 dengan waktu pengembalian biaya investasi masing-masing variasi dalam 13,69 tahun, 13,72 tahun, 14,79 tahun dan 14,81 tahun.

Kata kunci: PLTS, On-grid, Analisis Teknis dan Ekonomi, PVSyst 6.43

Abstract

Utilizing the roof of the house as a solar power plant on grid system can be an effective and efficient solution for PLN customers to reduce electricity bills. The study aims to design and analyze the potential of the solar power plant rooftop 1215 Wp with on-grid system household scale reviewed from the technical and economic side. There are 4 variations of component configuration in this study. Variation 1 uses canadian solar panels with solax inverter. Variation 2 uses canadian solar panels with sofara inverter. Variations 3 use risen solar panel with solax inverter. Variation 4 using risen solar panel with sofara inverter. Through the software PVSyst 6.43, the electrical potential production of each variation design of solar power plant in this study are 1873 kWh, 1893 kWh, 1865 kWh and 1885 kWh. The investment cost of each variation of solar power plant in this research is Rp 25.220.000, Rp 25.520.000, Rp 26.720.000, and Rp 27.020.000 with payback period of investment cost of each variation in 13.69 year, 13.72 year, 14.79 year and 14.81 year.

Keywords: Solar power plant, On-grid, Technical and Economic Analysis, PVSyst 6.43

1. Pendahuluan

Permintaan listrik selalu tumbuh lebih tinggi dibandingkan dengan jenis energi lainnya. 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]. Pola permintaan listrik selama periode proyeksi relatif sama, dengan porsi terbesar di sektor rumah tangga, kemudian sektor industri, sektor komersial, sektor transportasi dan sektor lainnya [1].

Pangsa permintaan listrik di sektor rumah tangga akan meningkat dari 49% tahun 2018 menjadi 58% pada tahun 2050. Kondisi ini terutama dipengaruhi oleh pertumbuhan jumlah rumah tangga yang meningkat dari 67 juta pada tahun 2018 menjadi lebih dari 80 juta pada tahun 2050 [1]. Untuk memenuhi permintaan listrik yang naik sebesar 9 kali lipat dari tahun 2018, maka produksi listrik pada tahun 2050 akan mencapai 2.562 TWh [1]. 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

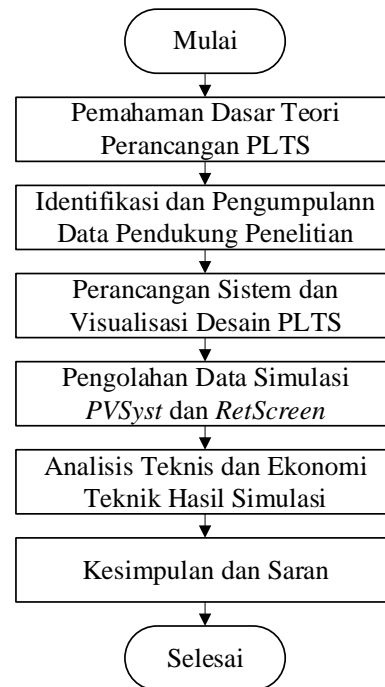
bagian dalam menjaga ketahanan dan kemandirian energi. Sesuai PP No. 79 Tahun 2014 tentang Kebijakan Energi Nasional, target bauran energi baru dan terbarukan pada tahun 2025 paling sedikit 23% dan 31% pada tahun 2050. Indonesia mempunyai potensi energi baru terbarukan yang cukup besar untuk mencapai target bauran energi primer tersebut [1]. 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 [1]. Potensi energi terbarukan terbesar adalah energi surya sebesar 207,8 GWp [1]. Untuk mempercepat pengembangan Energi Baru dan Terbarukan, Pemerintah telah menetapkan beberapa regulasi, yaitu Peraturan Presiden No. 4 Tahun 2016 (Pasal 14) tentang Percepatan Infrastruktur Ketenagalistrikan mengutamakan pemanfaatan energi baru dan terbarukan [2], Peraturan Menteri ESDM No. 50 Tahun 2017 tentang Pemanfaatan Sumber Energi Terbarukan untuk Penyediaan Tenaga Listrik [3], dan Peraturan Menteri ESDM No. 49 Tahun 2018 tentang Penggunaan Sistem Pembangkit Listrik Tenaga Surya Atap oleh Konsumen PT Perusahaan Listrik Negara (PLN) [1][4].

Dengan potensi energi matahari yang cukup tinggi di Indonesia dan dengan dukungan regulasi dari pemerintah diharapkan dapat menjadi solusi tingginya permintaan listrik di Indonesia di masa mendatang dengan pemanfaatan sel surya sebagai sumber energi listrik. Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) merupakan salah satu aplikasi dari penggunaan energi terbarukan, dengan matahari sebagai sumber energi primer. Mengingat pertumbuhan jumlah pelanggan rumah tangga yang terus meningkat, memanfaatkan atap rumah sebagai lahan PLTS bisa menjadi solusi yang efektif dan efisien. Maka tujuan dari penelitian adalah untuk merancang dan menganalisis potensi PLTS rooftop dengan sistem on grid skala rumah tangga ditinjau dari sisi teknik dan analisis ekonomi menggunakan bantuan perangkat lunak PVSyst 6.43 dan RetScreen Expert.

2. Metode

2.1. Perancangan Simulasi

Dalam pengerjaan Penelitian ini, digunakan dua buah aplikasi simulasi guna mengetahui unjuk kerja dari PLTS dan sebagai alat bantu untuk melakukan analisis ekonomi teknik, yaitu PVSyst 6.43 dan RetScreen Expert. Diagram alir dari penelitian berjudul “Studi Perancangan Pembangkit Listrik Tenaga Surya Rooftop dengan Sistem On Grid Skala Rumah Tangga ditinjau dari Teknik dan Ekonomi Teknik” dapat dilihat pada gambar 1 berikut.



Gambar 1. Diagram Alir Penelitian

2.2. Lokasi Penelitian

Pada penelitian ini dilakukan perancangan pembangkit listrik tenaga surya rooftop skala rumah tangga di perumahan Sambiroto Asri no A9 yang berada di 7,0321° LS dan 110,4581° BT.



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 [5]. Adapun data yang diambil adalah sebagai berikut:

Tabel 1. Data Insolasi Matahari dan Temperatur di Kota Semarang

Bulan	Insolasi Matahari (kWh/m ² .day)	Temperatur (°C)
January	4,60	27,99
February	5,29	27,71
March	4,55	27,88
April	5,08	28,65
May	5,41	28,73
June	5,14	28,65
July	5,37	29,94
August	5,94	31,75
September	6,49	33,54
October	6,54	34,43
November	6,02	33,51
December	5,30	29,75

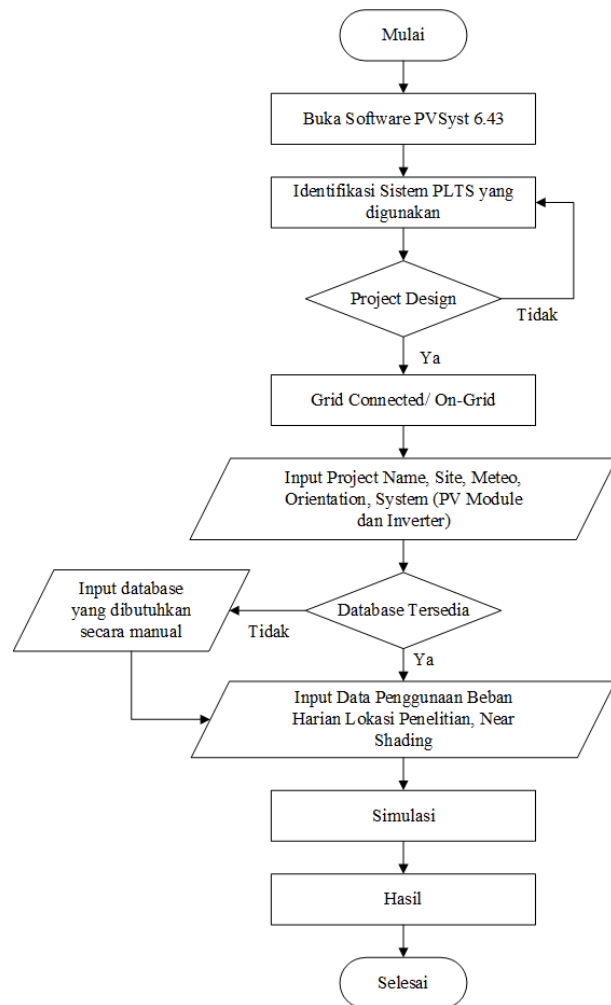
Berdasarkan data tersebut, diketahui bahwa pada tahun 2019 insolasi matahari tertinggi di lokasi penelitian adalah pada bulan Oktober sebesar 6,54 kWh/m²/hari, untuk nilai terendah adalah pada bulan Maret sebesar 4,55 kWh/m²/hari, dan untuk rata-rata tahun 2019 adalah 5,48 kWh/m²/hari. Bulan Oktober 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 30,22 °C, dengan suhu terendah terjadi pada bulan Februari sebesar 27,71 °C yang bertepatan dengan musim penghujan di Indonesia dan suhu terbesar pada bulan Oktober yang bertepatan dengan musim kemarau di Indonesia.

2.4. Analisis Teknis

Analisis teknis yang dilakukan mengacu pada sebesar apakah kapasitas PLTS rooftop 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 [6].

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 versi 6.43 dapat dilakukan simulasi guna mendapatkan hasil simulasi yang dapat digunakan untuk menganalisis unjuk kerja dan potensi pembangkitan energi listrik dari perancangan PLTS Rooftop di Perumahan Sambiroto Asri No. A9, tahapan simulasi pada perangkat lunak PVSyst 6.43 memiliki diagram alir sebagai berikut ini:

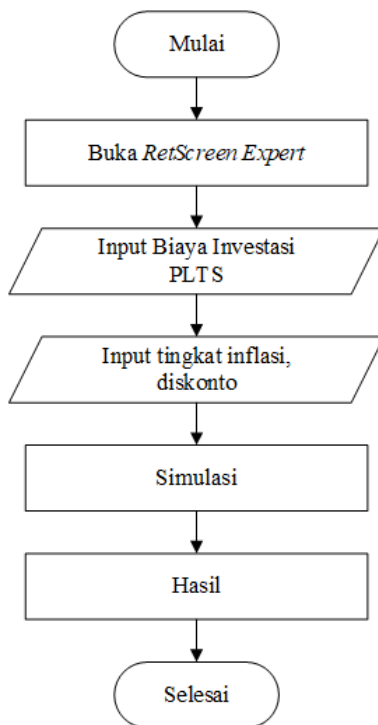


Gambar 4. Diagram alir pengoperasian perangkat lunak PVSyst 6.43

PVSyst merupakan paket perangkat lunak/ perangkat lunak yang digunakan untuk proses pembelajaran, pengukuran (sizing), dan analisis data dari sistem PLTS secara lengkap [7]. PVSyst 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 [8].

2.5. Analisis Ekonomi Teknik

Secara umum analisis ekonomi teknik bisa dikatakan sebagai analisis ekonomi dari suatu investasi teknik [9]. 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) [10]. Selain menggunakan perhitungan biasa, akan digunakan perangkat lunak RetScreen 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) [11]. Asumsi present yaitu menjelaskan waktu awal perhitungan bertepatan dengan saat evaluasi dilakukan atau pada periode tahun ke-

nol (0) dalam perhitungan cash flow investasi [12]. 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 Cashflow 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) [12].
2. NPV kurang dari 0, artinya investasi tidak layak (unfeasible) [12].

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 [13]. 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, CF_t 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

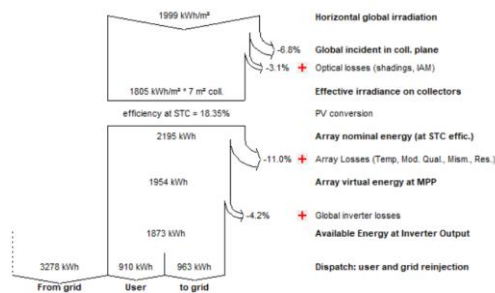
3.1. Hasil Simulasi

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

Hasil simulasi PVSyst 6.43 pada perencanaan PLTS rooftop skala rumah tangga variasi 1,2,3 dan 4 dapat dilihat pada gambar 6.

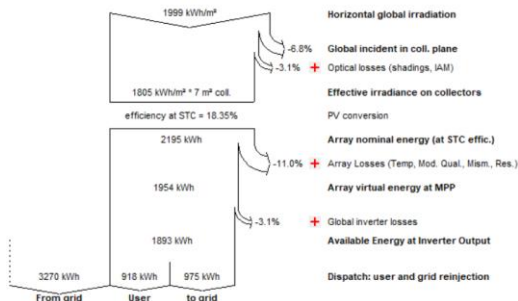
Tabel 2. Alternatif konfigurasi komponen PLTS rooftop

Variasi	Panel Surya	Inverter	Konfigurasi Array
1	Canadian Solar Polycrystalline 405 Wp Voc (47,4 V) Isc (10,98 A)	Solax X1-1.1-S Max Vin (400 V) Max lin (12 A)	3 modul dipasang secara seri. Voc (142,2 V) Isc (10,98 A)
2	Canadian Solar Polycrystalline 405 Wp Voc (47,4 V) Isc (10,98 A)	Sofar 1100TL-G3 Max Vin (500 V) Max lin (12 A)	3 modul dipasang secara seri. Voc (142,2 V) Isc (10,98 A)
3	Monocrystalline Risen 405 Wp Voc (48,75 V) Isc (10,6 A)	Solax X1-1.1-S Max Vin (400 V) Max lin (12 A)	3 modul dipasang secara seri. Voc (146,25 V) Isc (10,6)
4	Monocrystalline Risen 405 Wp Voc (48,75 V) Isc (10,6 A)	Sofar 1100TL-G3 Max Vin (500 V) Max lin (12 A)	3 modul dipasang secara seri. Voc (146,25 V) Isc (10,6)



Gambar 6. Hasil simulasi PLTS rooftop variasi 1

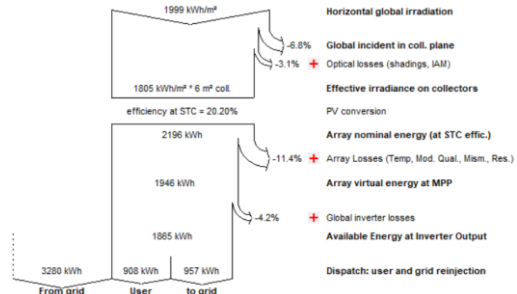
Berdasarkan gambar 6, energi listrik yang dihasilkan array surya variasi 1 adalah sebesar 1.954 kWh, kemudian dikonversi menjadi listrik AC oleh inverter, energi listrik yang dihasilkan berkurang menjadi 1.873 kWh yang disebabkan efisiensi dari inverter itu sendiri. Energi listrik yang dihasilkan sebesar 910 kWh digunakan untuk suplai beban rumah dan 963 kWh sisanya disalurkan ke *grid*.



Gambar 7. Hasil simulasi PLTS rooftop variasi 2

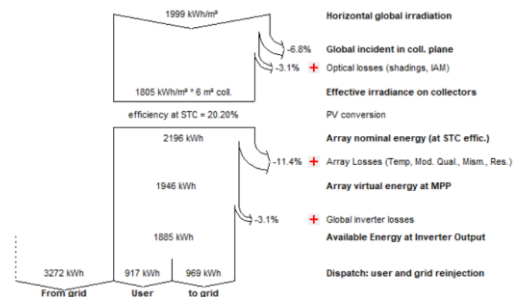
Berdasarkan gambar 7, energi listrik yang dihasilkan array surya variasi 2 adalah sebesar 1.954 kWh, kemudian setelah dikonversi menjadi listrik AC oleh inverter, energi listrik yang dihasilkan berkurang menjadi 1.893 kWh yang

disebabkan efisiensi dari inverter itu sendiri dengan pembagian 918 kWh digunakan untuk suplai beban rumah dan 975 kWh sisanya disalurkan ke *grid*.



Gambar 8. Hasil simulasi PLTS rooftop variasi 3

Berdasarkan gambar 8, energi listrik yang dihasilkan array surya variasi 3 adalah sebesar 1.946 kWh, kemudian setelah dikonversi menjadi listrik AC oleh inverter, energi listrik yang dihasilkan berkurang menjadi 1.865 kWh yang disebabkan efisiensi dari inverter itu sendiri dengan pembagian 908 kWh digunakan untuk suplai beban rumah dan 957 kWh sisanya disalurkan ke *grid*.



Gambar 9. Hasil simulasi PLTS rooftop variasi 4

Berdasarkan gambar 9, energi listrik yang dihasilkan array surya variasi 4 adalah sebesar 1.946 kWh, kemudian setelah dikonversi menjadi listrik AC oleh inverter, energi listrik yang dihasilkan berkurang menjadi 1.885 kWh yang disebabkan efisiensi dari inverter itu sendiri dengan pembagian 917 kWh digunakan untuk suplai beban rumah dan 969 kWh sisanya disalurkan ke *Grid*.

3.2. Analisis Teknis

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

Variasi	Insolasi Matahari Pada Panel Surya (kWh/m²)	Energi Listrik Array STC (kWh)	Energi Listrik Keluaran Array (kWh)	Energi Listrik Keluaran Inverter	Rasio Kinerja
1	1862,1	2195	1954	1873	82,8
2	1862,1	2195	1954	1893	83,7
3	1862,1	2196	1946	1865	82,4
4	1862,1	2196	1946	1885	83,3

Berdasarkan hasil simulasi perangkat lunak PVSyst 6.43 PLTS rooftop skala rumah tangga di lokasi penelitian dengan berbagai variasi dapat dibuat tabel 3.

Berdasarkan tabel 3 produksi energi listrik array surya pada kondisi STC melalui simulasi variasi 1 dan 2 lebih kecil nilainya yaitu 2195 kWh per tahun, dibandingkan dengan simulasi variasi 3 dan 4 yaitu 2196 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 canadian solar tipe CS3W405P dengan efisiensi sebesar 18,3% dengan luas array 6,63 m², sedangkan variasi 3 dan 4 menggunakan panel surya merk Risen tipe RSM144-6-405M dengan efisiensi sebesar 20,2 % 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 [14]. 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 241 kWh atau 10,98 % dari kondisi STC sehingga energi listrik yang dihasilkan menjadi 1.954 kWh, sedangkan energi listrik keluaran array pada variasi 3 dan 4 selama satu tahun mengalami rugi-rugi sebesar 250 kWh atau 11,38 % dari kondisi STC sehingga energi listrik yang dihasilkan menjadi 1946 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 2 lebih besar dibandingkan pada variasi 1, hal ini disebabkan karena pada variasi 2, inverter yang digunakan adalah merk Sofar Solar tipe SOFAR1100TL-G3 dengan rating efisiensi sebesar 97,5%, lebih besar dibandingkan efisiensi inverter pada variasi 1 dengan merk Solax tipe X1-1.1-S dengan rating efisiensi sebesar 97,1%.

Hal yang sama juga dapat dilihat pada variasi 3 dan 4, energi listrik keluaran inverter pada variasi 4 lebih besar dibandingkan pada variasi 3, hal ini disebabkan karena pada variasi 4, inverter yang digunakan adalah merk Sofar Solar tipe SOFAR1100TL-G3 dengan rating efisiensi

sebesar 97,5%, lebih besar dibandingkan efisiensi inverter pada variasi 3 dengan merk Solax tipe X1-1.1-S dengan rating efisiensi sebesar 97,1%. 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 2 yaitu sebesar 83,7% dan variasi yang memiliki rasio kinerja terkecil adalah variasi 3 yaitu sebesar 82,4%.

3.3. Analisis Ekonomi Teknik

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 [15].

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

Tabel 4. Biaya Investasi Awal Sistem PLTS Variasi 1

Komponen	Jumlah	Satuan	Harga	Total Harga
Panel Surya Canadian Solar	3	Modul	Rp 3.900.000	Rp 11.700.000
Inverter Solax	1	Buah	Rp 6.000.000	Rp 6.000.000
Penyangga Panel Surya	1	set	Rp 1.107.000	Rp 1.107.000
Pembumian Panel Surya	1	set	Rp 360.000	Rp 360.000
Kabel	1	set	Rp 420.000	Rp 420.000
Proteksi	1	set	Rp 643.000	Rp 643.000
Jasa dan lain-lain	1	set	Rp 1.800.000	Rp 4.990.000
Total				Rp 25.220.000

Tabel 5. Biaya Investasi Awal Sistem PLTS Variasi 2

Komponen	Jumlah	Satuan	Harga	Total Harga
Panel Surya Canadian Solar	3	Modul	Rp 3.900.000	Rp 11.700.000
Inverter Sofar	1	Buah	Rp 6.300.000	Rp 6.300.000
Penyangga Panel Surya	1	set	Rp 1.107.000	Rp 1.107.000
Pembumian Panel Surya	1	set	Rp 360.000	Rp 360.000
Kabel	1	set	Rp 420.000	Rp 420.000
Proteksi	1	set	Rp 643.000	Rp 643.000
Jasa dan lain-lain	1	set	Rp 1.800.000	Rp 4.990.000
Total				Rp 25.520.000

Tabel 6. Biaya Investasi Awal Sistem PLTS Variasi 3

Komponen	Jumlah	Satuan	Harga	Total Harga
Panel Surya Risen	3	Modul	Rp 4.400.000	Rp 13.200.000
Inverter Solax	1	Buah	Rp 6.000.000	Rp 6.000.000
Penyangga Panel Surya	1	set	Rp 1.107.000	Rp 1.107.000
Pembumian Panel Surya	1	set	Rp 360.000	Rp 360.000
Kabel	1	set	Rp 420.000	Rp 420.000
Proteksi	1	set	Rp 643.000	Rp 643.000
Jasa dan lain-lain	1	set	Rp 1.800.000	Rp 4.990.000
Total				Rp 26.720.000

Tabel 7. Biaya Investasi Awal Sistem PLTS Variasi 4

Komponen	Jumlah	Satuan	Harga	Total Harga
Panel Surya Risen	3	Modul	Rp 4.400.000	Rp 13.200.000
Inverter Sofar	1	Buah	Rp 6.300.000	Rp 6.300.000
Penyangga Panel Surya	1	set	Rp 1.107.000	Rp 1.107.000
Pembumian Panel Surya	1	set	Rp 360.000	Rp 360.000
Kabel	1	set	Rp 420.000	Rp 420.000
Proteksi	1	set	Rp 643.000	Rp 643.000
Jasa dan lain-lain	1	set	Rp 1.800.000	Rp 4.990.000
Total				Rp 27.020.000

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

Tabel 8. Biaya Operasional Pemeliharaan PLTS Variasi 1

Komponen	Jumlah	Satuan	Harga	Total Harga
O&M Panel Surya	1	Tahun	Rp117.000	Rp117.000
O&M Inverter	1	Tahun	Rp60.000	Rp60.000
O&M Penyangga Panel Surya	1	Tahun	Rp11.070	Rp11.070
O&M Pembumian Panel Surya	1	Tahun	Rp3.600	Rp3.600
O&M Kabel	1	Tahun	Rp4.200	Rp4.200
O&M Proteksi	1	Tahun	Rp6.430	Rp6.430
Total				Rp202.300

Tabel 9. Biaya Operasional Pemeliharaan PLTS Variasi 2

Komponen	Jumlah	Satuan	Harga	Total Harga
O&M Panel Surya	1	Tahun	Rp117.000	Rp117.000
O&M Inverter O&M	1	Tahun	Rp63.000	Rp63.000
Penyangga Panel Surya O&M	1	Tahun	Rp11.070	Rp11.070
Pembumian Panel Surya O&M	1	Tahun	Rp3.600	Rp3.600
O&M Kabel	1	Tahun	Rp4.200	Rp4.200
O&M Proteksi	1	Tahun	Rp6.430	Rp6.430
Total				Rp205.300

Tabel 10. Biaya Operasional Pemeliharaan PLTS Variasi 3

Komponen	Jumlah	Satuan	Harga	Total Harga
O&M Panel Surya	1	Tahun	Rp132.000	Rp132.000
O&M Inverter O&M	1	Tahun	Rp60.000	Rp60.000
Penyangga Panel Surya O&M	1	Tahun	Rp11.070	Rp11.070
Pembumian Panel Surya O&M	1	Tahun	Rp3.600	Rp3.600
O&M Kabel	1	Tahun	Rp4.200	Rp4.200
O&M Proteksi	1	Tahun	Rp6.430	Rp6.430
Total				Rp217.300

Tabel 11. Biaya Operasional Pemeliharaan PLTS Variasi 4

Komponen	Jumlah	Satuan	Harga	Total Harga
O&M Panel Surya	1	Tahun	Rp132.000	Rp132.000
O&M Inverter O&M	1	Tahun	Rp63.000	Rp63.000
Penyangga Panel Surya O&M	1	Tahun	Rp11.070	Rp11.070
Pembumian Panel Surya O&M	1	Tahun	Rp3.600	Rp3.600
O&M Kabel	1	Tahun	Rp4.200	Rp4.200
O&M Proteksi	1	Tahun	Rp6.430	Rp6.430
Total				Rp220.300

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-impor dikalikan 65% dari tarif listrik yang berlaku. 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

Komponen	Jumlah	Satuan	Harga	Total Harga
Penghematan Energi Listrik	909,97	kWh	Rp 1.467	Rp1.334.926
Penjualan Energi Listrik	962,7	kWh	Rp 953,55	Rp917.983

Tabel 13. Pendapatan PLTS Variasi 2

Komponen	Jumlah	Satuan	Harga	Total Harga
Penghematan Energi Listrik	918,23	kWh	Rp 1.467	Rp1.347.043
Penjualan Energi Listrik	975	kWh	Rp 953,55	Rp929.711

Tabel 14. Pendapatan PLTS Variasi 3

Komponen	Jumlah	Satuan	Harga	Total Harga
Penghematan Energi Listrik	908,25	kWh	Rp 1.467	Rp1.332.403
Penjualan Energi Listrik	956,8	kWh	Rp 953,55	Rp912.357

Tabel 15. Pendapatan PLTS Variasi 4

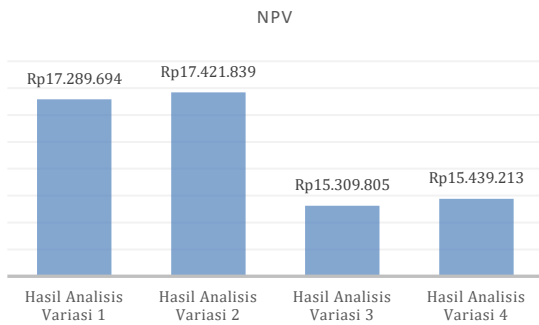
Komponen	Jumlah	Satuan	Harga	Total Harga
Penghematan Energi Listrik	916,55	kWh	Rp 1.467	Rp1.344.579
Penjualan Energi Listrik	968,9	kWh	Rp 953,55	Rp923.895

Penghematan energi listrik yang dimaksud adalah energi listrik yang dihasilkan panel surya dan dipakai sendiri untuk menyuplai kebutuhan beban rumah sesuai dengan hasil simulasi pada perangkat lunak PVSyst 6.43. Sedangkan penjualan energi listrik yang dimaksud adalah energi listrik yang dihasilkan panel surya dan disalurkan kepada jala-jala atau grid PLN.

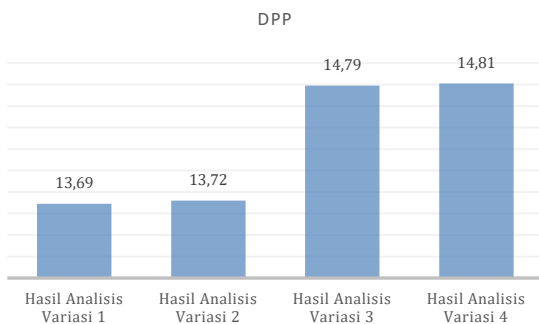
Berdasarkan data-data diatas, analisis ekonomi teknik PLTS rooftop skala rumah tangga di lokasi penelitian pada variasi 1,2,3 dan 4 dapat dibuat pada tabel 16 sebagai berikut.

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

Metode	Variasi 1	Variasi 2	Variasi 3	Variasi 4
NPV	Rp 17.289.694	Rp 17.421.839	Rp 15.309.805	Rp 15.439.213
DPP	13,69	13,72	14,79	14,81



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



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 skala rumah tangga untuk masing-masing variasi layak dilaksanakan. 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 skala rumah tangga untuk masing-masing variasi layak dilaksanakan, dimana investasi dengan nilai DPP terkecil adalah variasi 1 sehingga investasi yang paling cepat mengalami pengembalian biaya investasi adalah investasi variasi 1.

4. Kesimpulan

PLTS yang dirancang pada penelitian ini memiliki 4 variasi konfigurasi yang masing-masing berkapasitas 1215 Wp dengan inverter 1,1 kW.

Energi listrik yang dihasilkan dari PLTS rooftop skala rumah tangga ini berkisar antara 1865-1893 kWh dengan rasio kinerja berkisar antara 82,4-83,7 %.

Dari sisi ekonomi teknik, masing-masing variasi dari perancangan PLTS rooftop skala rumah tangga ini layak untuk dilaksanakan karena memiliki nilai NPV diatas 0 dan nilai DPP dibawah 25 tahun, investasi dengan waktu pengembalian modal tercepat adalah variasi 1, karena memiliki nilai DPP terkecil yaitu 13,69 tahun.

Referensi

- [1] S. Suharyati, S. H. Pambudi, J. L. Wibowo, and N. I. Pratiwi, "Outlook Energi Indonesia 2019," 2019.
- [2] Presiden Republik Indonesia, "Peraturan Presiden Republik Indonesia Nomor 4 Tahun 2016 Tentang Percepatan Pembangunan Infrastruktur Ketenagalistrikan," 2016.
- [3] Menteri Energi dan Sumber Daya Mineral Republik Indonesia, *Peraturan Menteri Energi dan Sumber Daya Mineral Republik Indonesia Nomor 50 Tahun 2017 Tentang Pemanfaatan Sumber Energi Terbarukan Untuk Penyediaan Tenaga Listrik.* 2017.
- [4] Menteri Energi Dan Sumber Daya Mineral Republik, *Peraturan Menteri ESDM Nomor 49 Thn 2018 Tentang Penggunaan Sistem Pembangkit Listrik Tenaga Surya Atap oleh Konsumen PT. PLN (Persero).* 2018, p. 18.
- [5] "NASA Prediction of Worldwide Energy Resources." [Online]. Available: <https://power.larc.nasa.gov/data-access-viewer/>. [Accessed: 02-Jun-2020].
- [6] *Utility-Scale Solar Photovoltaic Power Plants a Project Developer's Guide.* Washington, D.C., 2015.
- [7] Suriadi and M. Syukri, "Perencanaan Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) Terpadu Menggunakan Software PVSYST Pada Komplek Perumahan di Banda Aceh," *J. Rekayasa Elektr.*, vol. 9, no. 2, pp. 77–80, 2010, doi: 10.17529/jre.v9i2.167.
- [8] A. A. Ngurah et al., "Analisis Produksi Energi dari Inverter pada Grid-connected PLTS 1 MWp di Desa Kayubih Kabupaten Bangli," *Teknol. Elektro*, vol. 16, no. 1, 2017.
- [9] I. N. Pujawan, *Ekonomi Teknik Edisi 3.* Yogyakarta: LAUTAN PUSTAKA, 2019.

- [10] P. Hanna J, "Universitas Indonesia Analisis Keekonomian Kompleks Perumahan Berbasis Energi Sel Surya (Studi Kasus: Perumahan Cyber Orchid Town Houses, Depok)," Universitas Indonesia, 2012.
- [11] W. Sunanda and R. F. Gusa, "Analisis Peluang Penghematan Ekonomi Sistem Fotovoltaik Terhubung Jaringan Listrik Pada Kawasan Perumahan Di Kota Pangkal Pinang," *AVOER Appl. Innov. Eng. Sci. Res.*, vol. 8, no. November, 2016.
- [12] M. Giatman, *EKONOMI TEKNIK*, 3rd ed. Jakarta: PT RajaGrafindo Persada, 2011.
- [13] J. Pradityo, I. B. Winardi, M. Kom, and I. A. Nugroho, "Evaluasi Dan Optimasi Sistem Off Grid Pembangkit Listrik Tenaga Hybrid (Plth) Bayu Baru, Bantul, D.I. Yogyakarta."
- [14] 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.
- [15] "Monetary Data Bank Indonesia." [Online]. Available: <https://www.bi.go.id/en/moneter/Contents/Default.aspx>