

Studi Perancangan Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) dengan Sistem On Grid untuk Supply Listrik pada Lingkungan Bank Perkreditan Rakyat Pedesaan di BPR BKK Mandiraja Cabang Wanayasa Kabupaten Banjarnegara ditinjau dari Teknis dan Ekonomi Teknik.

Jaka Windarta¹, Enda Wista Sinuraya², Denis³, Darell Mahardhika⁴, Ilham Muammar⁵

Jurusan Teknik Elektro Universitas Diponegoro, Semarang

¹jakawindarta@lecturer.undip.ac.id

²sinuraya_enda@elektro.undip.ac.id

³denisginting@elektro.undip.ac.id

Abstrak — 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. Mengingat pertumbuhan jumlah pelanggan rumah tangga yang terus meningkat, memanfaatkan atap rumah sebagai lahan PLTS bisa menjadi solusi yang efektif dan efisien. Penelitian ini bertujuan untuk merancang dan menganalisis potensi PLTS dengan sistem on grid skala perkantoran ditinjau dari sisi teknik dan ekonomi. Melalui software PVSyst 7.0, dengan beberapa variasi komponen utama yang divariasikan, potensi kinerja dari perencanaan PLTS skala perkantoran ini diperkirakan akan menghasilkan energi listrik sebesar 4,23 kWh/kWp/hari dengan rata-rata pengembalian biaya investasi dalam 10 tahun.

Kata kunci — Economic Analysis, On-Grid, PVSyst 7.0, Solar Power Plant, Technical

I. 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. 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. 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. 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. Potensi energi terbarukan terbesar adalah energi surya sebesar 207,8 GWp. 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) [4].

II. METODOLOGI

A. Solar Radiation

Radiasi matahari adalah banyaknya energi yang diterima bumi per satuan luas per satuan waktu yang nilainya berubah bergantung pada beberapa faktor, seperti garis lintang tempat itu berada, musim, dan waktu [5]. Ada dua jenis radiasi, yaitu radiasi langsung dari matahari dan radiasi yang

tidak langsung yang disebabkan oleh hamburan dari partikel atmosfer.

B. Pembangkit Listrik Tenaga Surya

Pembangkit Listrik Tenaga Surya adalah pembangkit listrik yang menggunakan sinar matahari sebagai sumber energinya melalui sel surya untuk mengkonversikan radiasi sinar foton matahari menjadi energi listrik. Sel surya merupakan lapisan-lapisan tipis dari bahan semikonduktor silikon murni, dan bahan semikonduktor lainnya [8]. PLTS merupakan pembangkit listrik yang ramah lingkungan tanpa ada bagian yang berputar, tidak menimbulkan kebisingan, dan tanpa mengeluarkan limbah yang merugikan lingkungan disekitarnya. Terdapat beberapa faktor yang mempengaruhi efisiensi daya keluaran sel surya, yaitu radiasi matahari, temperatur sel surya, orientasi panel surya, dan pengaruh bayangan [9].

C. 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. Performa dari PLTS diperkirakan menurun sejalan dengan usia pakainya karena disebabkan oleh degradasi dari modul surya, dan umur dari komponen yang digunakan. 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 [10].

D. Analisis Ekonomi Teknik

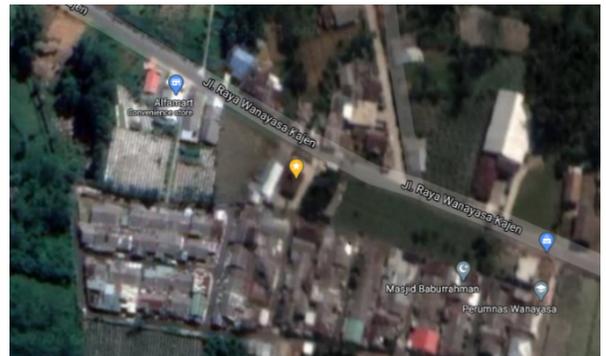
Secara umum analisis ekonomi teknik bisa dikatakan sebagai analisis ekonomi dari suatu investasi teknik. Tujuan dari analisis ini untuk menilai kelayakan suatu proposal investasi teknis dengan melakukan kajian alternatif yang dianggap paling menguntungkan. Pada umumnya investasi teknik memiliki umur ekonomis yang lama, biasanya tahunan. Di sisi lain, nilai mata uang dari

waktu ke waktu tidak sama. Oleh karena itu diperlukan proses ekivalensi nilai mata uang [11].

III. HASIL DAN DISKUSI

A. Lokasi Penelitian

Lokasi penelitian secara astronomis terletak pada $7^{\circ}23'94.08''\text{LS}$ dan $109^{\circ}74'58.14''\text{BT}$, berdasarkan data yang didapat dari NASA Prediction of Worldwide Energy Resources [12] insolasi matahari pada tahun 2019 di wilayah ini sebesar $5,59 \text{ kWh/m}^2/\text{hari}$. Selain insolasi matahari, data yang diperoleh dari NASA Prediction of Worldwide Energy Resources berupa kecepatan angin dan radiasi tersebar, sedangkan data temperatur wilayah Kota Banjarnegara didapat dari Badan Meteorologi Klimatologi dan Geofisika, Stasiun Klimatologi Banjarnegara. Beberapa data diatas dapat digunakan guna mengolah data mengenai potensi pemanfaatan energi matahari menjadi PLTS di lokasi penelitian.



Gbr 1. Lokasi Penelitian Bank BPR BKK cabang Wanayasa

Tabel 1. Insolasi, temperatur, radiasi matahari, dan kecepatan angin di kota Banjarnegara

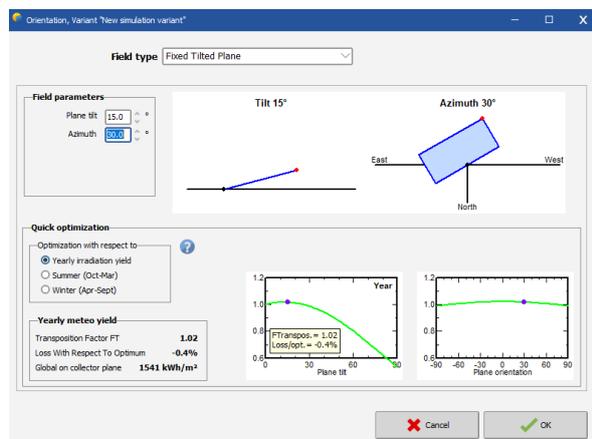
Bulan	Data			
	Radiasi ($\text{kWh/m}^2.\text{day}$)	Temperatu re ($^{\circ}\text{C}$)	Diffuse Radiation ($\text{kWh/m}^2.\text{day}$)	Wind Velocit y (m/s)
January	4,60	25,2	2,33	2,59
February	5,29	25,2	2,39	1,42
March	4,55	24,9	2,32	2,06
April	5,08	25,7	2,06	1,76
May	5,41	25,2	1,76	2,65
June	5,14	23,9	1,63	2,82
July	5,37	23,5	1,63	3,04
August	5,94	23,9	1,80	3,11
Septemb er	6,49	25,3	2,06	2,99
October	6,54	26,7	2,31	2,75
Novemb er	6,02	27,0	2,34	2,37

Bulan	Data			
	Radiasi (kWh/m ² .day)	Temperatu re (°C)	Diffuse Radiation (kWh/m ² .day)	Wind Velocit y (m/s)
Decemb er	5,30	26,3	2,32	1,42

Berdasarkan kondisi di lapangan, perencanaan Pembangkit Listrik Tenaga Surya menggunakan tipe penyangga tetap (*fixed tilted plane*) dengan kemiringan yang disesuaikan kondisi kanopi yaitu sebesar 15° dan azimuth 30°.



Gbr 2. Visualisasi Lokasi Penelitian di Bank BPR BKK Cabang Wanayasa.



Gbr 3. Orientasi Modul Surya

Komponen utama yang akan ditentukan adalah panel surya dan inverter. Masing-masing komponen terdiri dari dua alternatif pilihan. Alternatif pilihan untuk panel surya adalah panel surya dengan tipe *polycrystalline* dan *monocrystalline* yang masing-masing berkapasitas 405 Wp. Sedangkan alternatif pilihan untuk inverter yang akan dipilih adalah inverter dengan efisiensi lebih dari 97%. Adapun alternatif komponen untuk PLTS yang akan dimasukkan ke dalam perangkat lunak PVSyst 7.0 untuk disimulasikan dalam perencanaan PLTS adalah sebagai berikut.

Tabel 2. Spesifikasi Panel Surya Alternatif 1 (Canadian Solar CS3W405P)

Spesifikasi	Nilai
Daya Maksimum (Pmax)	405 Wp
Tegangan Rangkaian Terbuka (Voc)	47,4 V
Arus Hubung Singkat (Isc)	10,98 A
Tegangan Maksimum (Vmp)	38,9 V
Arus Maksimum (Imp)	10,42 A
Modul Efisiensi	18,3 %
Dimensi (mm x mm x mm)	2108 x 1048 x 40
Harga	Rp 3.900.000

Tabel 3. Spesifikasi Panel Surya Alternatif 2 (Trina Solar TSM-405DE15M(II))

Spesifikasi	Nilai
Daya Maksimum (Pmax)	405 Wp
Tegangan Rangkaian Terbuka (Voc)	49,2 V
Arus Hubung Singkat (Isc)	10,92 A
Tegangan Maksimum (Vmp)	40,5 V
Arus Maksimum (Imp)	10 A
Modul Efisiensi	19,9
Dimensi (mm x mm x mm)	2024 x 1004 x 35
Harga	Rp 4.000.000

Tabel 4. Spesifikasi Inverter Alternatif 1 (Solax X1-1.1S)

Spesifikasi	Nilai
Input DC	
Daya Array Surya Maksimal	1250 W
Tegangan DC Maksimal	400 V
Arus Masukan Maksimal	12 A
Rentang Tegangan MPPT	55-380 V
Output AC	
Daya Keluaran Maksimal	1100 W
Rentang Tegangan Grid Nominal	180-280 V
Arus Keluaran Maksimal	5,5 A
Data Umum	
Efisiensi Maksimal	97,1 %
Dimensi	267 x 328 x 116 mm
Harga	Rp 6.000.000

Tabel 5. Spesifikasi Inverter Alternatif 2 (Solis-1000W)

Spesifikasi	Nilai
Input DC	
Daya Array Surya Maksimal	1200 W
Tegangan DC Maksimal	600 V
Arus Masukan Maksimal	11 A

Spesifikasi	Nilai
Rentang Tegangan MPPT	50-500 V
Output AC	
Daya Keluaran Maksimal	1100 W
Rentang Tegangan Grid Nominal	160-285 V
Arus Keluaran Maksimal	5,2 A
Data Umum	
Efisiensi Maksimal	97,2 %
Dimensi	310 x 373 x 160 mm
Harga	Rp 5.500.000

Berdasarkan alternatif komponen diatas, maka PLTS yang akan disimulasikan memiliki 4 variasi konfigurasi yang dapat dilihat pada tabel 6 sebagai berikut.

Tabel 6. Alternatif konfigurasi komponen PLTS

Variation	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)	Solis Mini-1000-4G Max Vin (600 V) Max lin (11 A)	3 modul dipasang secara seri. Voc (142,2 V) Isc (10,98 A)
3	Trina Solar Polycrystalline 405 Wp Voc (49,2 V) Isc (10,52 A)	Solax X1-1.1-S Max Vin (400 V) Max lin (12 A)	3 modul dipasang secara seri. Voc (147,6 V) Isc (10,52)
4	Trina Solar Polycrystalline 405 Wp Voc (49,2 V) Isc (10,52 A)	Solis Mini-1000-4G Max Vin (600 V) Max lin (11 A)	3 modul dipasang secara seri. Voc (147,6 V) Isc (10,52)

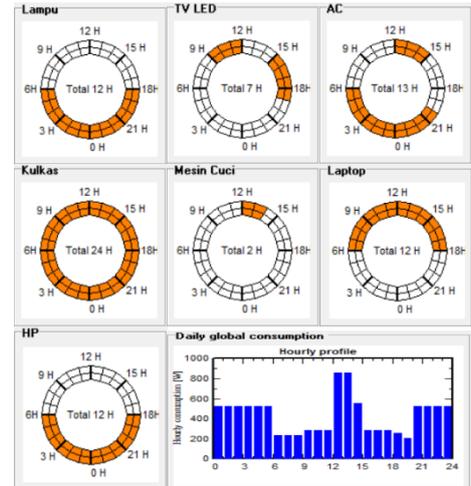
Perkiraan beban harian di lokasi penelitian dilakukan dengan cara observasi manual dan periodik guna mengetahui perkiraan beban harian yang digunakan setiap harinya. Lokasi penelitian memiliki kapasitas terpasang 1300VA. Berikut akan ditampilkan profil beban harian di lokasi penelitian.

Tabel 7. Profil beban harian di lokasi penelitian

Beban	Jumlah	Daya (W)	Waktu (h)	Energi (Wh)
Lampu	10	10	12	1200
TV	1	50	7	350
AC	1	320	13	4160

Beban	Jumlah	Daya (W)	Waktu (h)	Energi (Wh)
Kulkas	1	100	24	2400
Mesin Cuci	1	300	2	600
Laptop	1	135	12	1260
Handphone	1	5	12	60

Berdasarkan tabel 7, profil beban di lokasi penelitian akan dibuat menjadi profil beban per jam dengan pembagian sebagai berikut

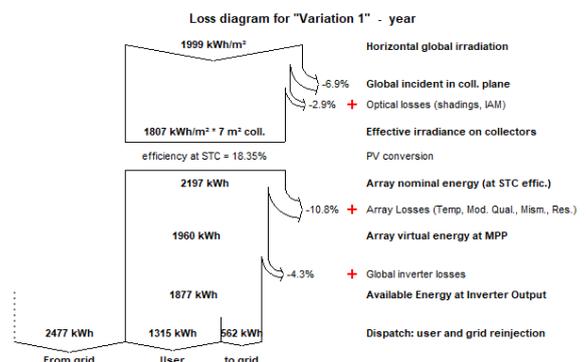


Gbr 4. Pembagian profil beban harian di lokasi penelitian

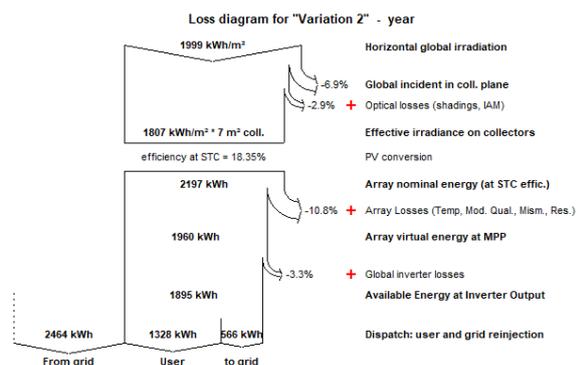
Setelah menentukan dan memasukkan seluruh data, simulasi dengan menggunakan perangkat lunak PVSyst 7.0 dapat dijalankan.

B. Hasil Simulasi

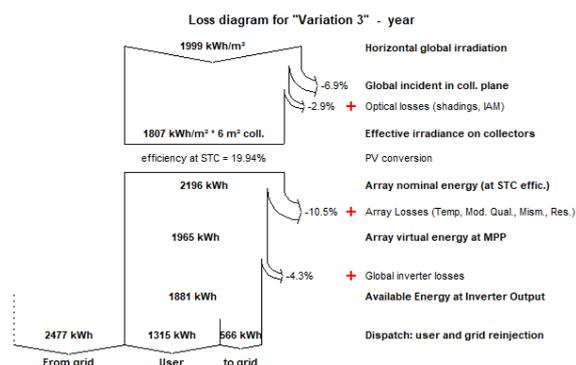
Hasil simulasi PVSyst 7.0 pada perencanaan PLTS skala perkantoran 1,2,3 dan 4 dapat dilihat pada gambar di bawah ini.



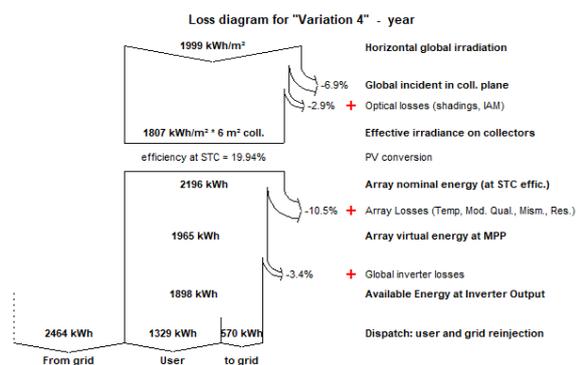
Gbr 5. Hasil dari variasi 1



Gbr 6. Hasil dari variasi 2



Gbr 7. Hasil dari variasi 3



Gbr 8. Hasil dari variasi 4

C. Analisis

1. Analisis Teknikal

Berdasarkan hasil simulasi perangkat lunak PVSyst 7.0 PLTS skala perkantoran berkapasitas di lokasi penelitian dengan berbagai variasi dapat dibuat tabel 8 sebagai berikut.

Tabel 8. Perbandingan Hasil Simulasi PLTS Variasi 1, 2, 3, dan 4

Variasi	Insolasi pada Panel Surya (kWh/m ²)	Energi Listrik Array STC (kWh)	Energi Listrik Keluaran Array (kWh)	Energi Listrik Keluaran Inverter (kWh)	Rasio Kinerja (%)
Variasi 1	1861,3	2197	1960	1877	83

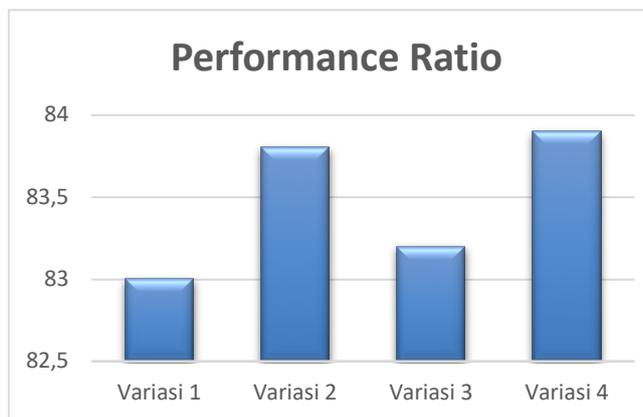
Variasi	Insolasi pada Panel Surya (kWh/m ²)	Energi Listrik Array STC (kWh)	Energi Listrik Keluaran Array (kWh)	Energi Listrik Keluaran Inverter (kWh)	Rasio Kinerja (%)
Variasi 2	1861,3	2197	1960	1894	83,8
Variasi 3	1861,3	2196	1965	1881	83,2
Variasi 4	1861,3	2196	1965	1898	83,9

Berdasarkan tabel 8, produksi energi listrik array surya pada kondisi STC melalui simulasi variasi 1 dan 2 lebih besar nilainya yaitu 2197 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 6,63 m² yang menghasilkan energi listrik keluaran array sebesar 2197 saat kondisi STC kWh, sedangkan variasi 3 dan 4 menggunakan panel surya merk trina Solar tipe TSM-405DE15M(II) dengan efisiensi sebesar 19,9% dengan luas 6,09 m² menghasilkan energi listrik keluaran array saat kondisi STC sebesar 2196 kWh. Sehingga dapat dikatakan bahwa semakin besar efisiensi panel surya dan semakin luas permukaan panel semakin baik. Efisiensi dipengaruhi oleh tipe panel surya yang digunakan. 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 [13], tetapi pada nominal daya yang sama, tipe panel surya monocrystalline umumnya memiliki luas permukaan yang lebih kecil dibandingkan polycrystalline.

Energi listrik keluaran array selama satu tahun pada variasi 1 dan 2 mengalami rugi-rugi dari kondisi STC sebesar 237 kWh atau 10,79% dari kondisi STC sehingga menjadi 1960 kWh, sedangkan energi listrik keluaran array pada variasi 3 dan 4 selama satu tahun mengalami rugi-rugi sebesar 231 kWh atau 10,52% dari kondisi STC sehingga menjadi 1965 kWh. Sehingga dapat dikatakan bahwa kedua tipe panel surya yang digunakan memiliki karakteristik rugi-rugi yang hampir sama hanya terpaut 0,27 %.

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 Solis tipe MINI-1000-4G dengan rating efisiensi sebesar 97,2%, 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 Solis tipe MINI-1000-4G dengan rating efisiensi sebesar 97,2%, 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.



Gbr 9. Performance Ratio PLTS skala perkantoran di lokasi penelitian

Jika dilihat dari rasio kinerja dari masing-masing variasi, variasi dengan rasio kinerja terbesar adalah variasi 4 yaitu sebesar 83,9% dan variasi yang memiliki rasio kinerja terkecil adalah variasi 1 yaitu sebesar 83%.

2) Analisis Ekonomi

Kelayakan investasi PLTS 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 [14].

Biaya investasi untuk masing-masing komponen pada perancangan sistem PLTS skala perkantoran variasi 1,2,3 dan 4 di lokasi penelitian dapat dilihat pada tabel 9, tabel 10, tabel 11, dan tabel 12 berikut.

Tabel 9. Biaya investasi awal sistem PLTS variasi 1

Nama 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 290.000	Rp 290.000
Kabel	1	set	Rp 260.000	Rp 260.000
Proteksi	1	set	Rp 643.000	Rp 643.000
Jasa dan lain-lain	1	set	Rp 1.800.000	Rp 1.800.000
Total				Rp 21.800.000

Tabel 10. Biaya investasi awal sistem PLTS variasi 2

Nama Komponen	Jumlah	Satuan	Harga	Total Harga
Panel Surya Canadian Solar	3	Modul	Rp 3.900.000	Rp 11.700.000
Inverter Solis	1	Buah	Rp 5.500.000	Rp 5.500.000
Penyangga Panel Surya	1	set	Rp 1.107.000	Rp 1.107.000
Pembumian Panel Surya	1	set	Rp 290.000	Rp 290.000
Kabel	1	set	Rp 260.000	Rp 260.000
Proteksi	1	set	Rp 643.000	Rp 643.000
Jasa dan lain-lain	1	set	Rp 1.800.000	Rp 1.800.000
Total				Rp 21.300.000

Tabel 11. Biaya investasi awal sistem PLTS variasi 3

Nama Komponen	Jumlah	Satuan	Harga	Total Harga
Panel Surya Trina Solar	3	Modul	Rp 4.000.000	Rp 12.000.000
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 290.000	Rp 290.000
Kabel	1	set	Rp 260.000	Rp 260.000
Proteksi	1	set	Rp 643.000	Rp 643.000
Jasa dan lain-lain	1	set	Rp 1.800.000	Rp 1.800.000
Total				Rp 22.100.000

Tabel 12. Biaya investasi awal sistem PLTS variasi 4

<i>Nama Komponen</i>	<i>Jumlah</i>	<i>Satuan</i>	<i>Harga</i>	<i>Total Harga</i>
Panel Surya Trina Solar	3	Modul	Rp 4.000.000	Rp 12.000.000
Inverter Solis	1	Buah	Rp 5.500.000	Rp 5.500.000
Penyangga Panel Surya	1	set	Rp 1.107.000	Rp 1.107.000
Pembumian Panel Surya	1	set	Rp 290.000	Rp 290.000
Kabel	1	set	Rp 260.000	Rp 260.000
Proteksi	1	set	Rp 643.000	Rp 643.000
Jasa dan lain-lain	1	set	Rp 1.800.000	Rp 1.800.000
Total				Rp 21.600.000

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 13, tabel 14, tabel 15, dan tabel 16 berikut.

Tabel 13. Biaya operasional sistem PLTS variasi 1

<i>Nama Komponen</i>	<i>Jumlah</i>	<i>Satuan</i>	<i>Harga</i>	<i>Total Harga</i>
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	Rp2.900	Rp2.900
O&M Kabel	1	Tahun	Rp2.600	Rp2.600
O&M Proteksi	1	Tahun	Rp6.430	Rp6.430
Total				Rp 200.000

Tabel 14. Biaya operasional sistem PLTS variasi 2

<i>Nama Komponen</i>	<i>Jumlah</i>	<i>Satuan</i>	<i>Harga</i>	<i>Total Harga</i>
O&M Panel Surya	1	Tahun	Rp117.000	Rp117.000
O&M Inverter	1	Tahun	Rp55.000	Rp55.000
O&M Penyangga Panel Surya	1	Tahun	Rp11.070	Rp11.070
O&M Pembumian Panel Surya	1	Tahun	Rp2.900	Rp2.900
O&M Kabel	1	Tahun	Rp2.600	Rp2.600
O&M Proteksi	1	Tahun	Rp6.430	Rp6.430
Total				Rp 195.000

Tabel 15. Biaya operasional sistem PLTS variasi 3

<i>Nama Komponen</i>	<i>Jumlah</i>	<i>Satuan</i>	<i>Harga</i>	<i>Total Harga</i>
O&M Panel Surya	1	Tahun	Rp120.000	Rp120.000
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	Rp2.900	Rp2.900
O&M Kabel	1	Tahun	Rp2.600	Rp2.600
O&M Proteksi	1	Tahun	Rp6.430	Rp6.430
Total				Rp 203.000

Tabel 16. Biaya operasional sistem PLTS variasi 4

<i>Nama Komponen</i>	<i>Jumlah</i>	<i>Satuan</i>	<i>Harga</i>	<i>Total Harga</i>
O&M Panel Surya	1	Tahun	Rp120.000	Rp120.000
O&M Inverter	1	Tahun	Rp55.000	Rp55.000
O&M Penyangga Panel Surya	1	Tahun	Rp11.070	Rp11.070
O&M Pembumian Panel Surya	1	Tahun	Rp2.900	Rp2.900
O&M Kabel	1	Tahun	Rp2.600	Rp2.600
O&M Proteksi	1	Tahun	Rp6.430	Rp6.430
Total				Rp 198.000

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 17, tabel 18, tabel 19 dan tabel 20 sebagai berikut.

Tabel 17. Pendapatan sistem PLTS variasi 1

<i>Nama Komponen</i>	<i>Jumlah</i>	<i>Satuan</i>	<i>Harga</i>	<i>Total Harga</i>
Penghematan Energi Listrik	1.315	Tahun	Rp 1.467	Rp 1.929.105
Penjualan Energi Listrik	561,76	Tahun	Rp 953,55	Rp 535.666

Tabel 18. Pendapatan sistem PLTS variasi 2

Nama Komponen	Jumlah	Satuan	Harga	Total Harga
Penghematan Energi Listrik	1.328,3	Tahun	Rp 1.467	Rp 1.948.616
Penjualan Energi Listrik	566,12	Tahun	Rp 953,55	Rp 539.824

Tabel 19. Pendapatan sistem PLTS variasi 3

Nama Komponen	Jumlah	Satuan	Harga	Total Harga
Penghematan Energi Listrik	1.315,4	Tahun	Rp 1.467	Rp 1.929.692
Penjualan Energi Listrik	565,51	Tahun	Rp 953,55	Rp 539.242

Tabel 20. Pendapatan sistem PLTS variasi 4

Nama Komponen	Jumlah	Satuan	Harga	Total Harga
Penghematan Energi Listrik	1.328,8	Tahun	Rp 1.467	Rp 1.949.350
Penjualan Energi Listrik	569,69	Tahun	Rp 953,55	Rp 548.228

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. Untuk menghitung nilai NPV digunakan persamaan sebagai berikut.

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

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

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

Dengan menggunakan ketiga persamaan tersebut, didapatkan nilai NPV untuk masing-masing variasi adalah sebagai berikut.

Tabel 21. Nilai NPV Variasi 1, 2, 3 dan 4

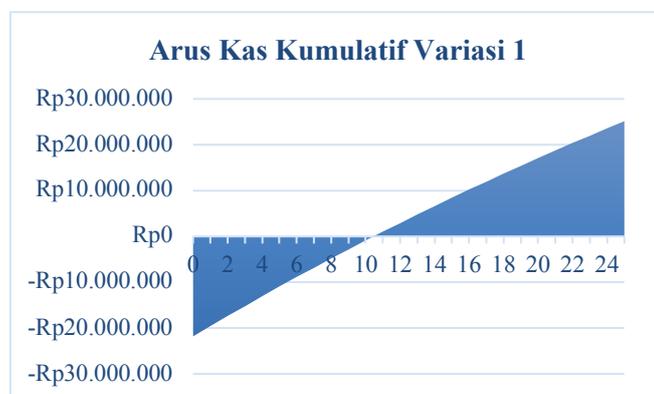
Nama Variasi	NPV
1	Rp 25.149.342
2	Rp 26.243.658
3	Rp 24.873.448
4	Rp 25.967.239

Berdasarkan tabel 21, terlihat nilai NPV pada masing-masing variasi bernilai lebih dari 0 sehingga dapat dikatakan bahwa investasi PLTS skala perkantoran untuk masing-masing variasi layak dilaksanakan.

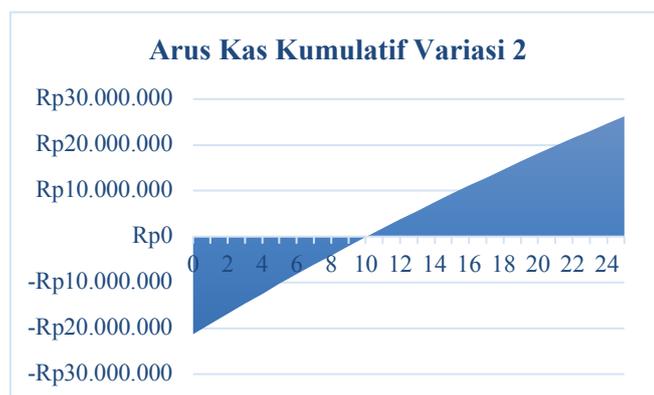
Sedangkan untuk menghitung nilai DPP digunakan persamaan sebagai berikut.

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

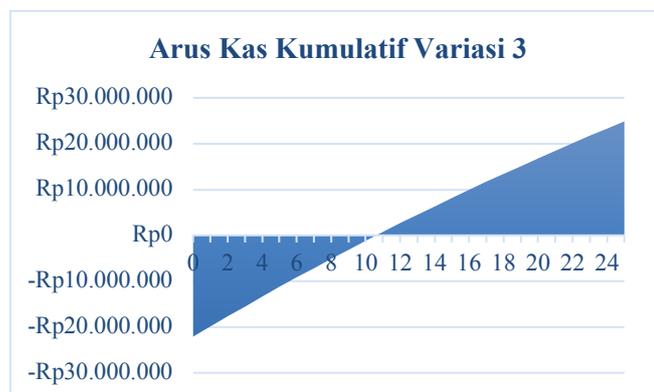
Arus kas kumulatif untuk masing-masing variasi perancangan PLTS adalah sebagai berikut.



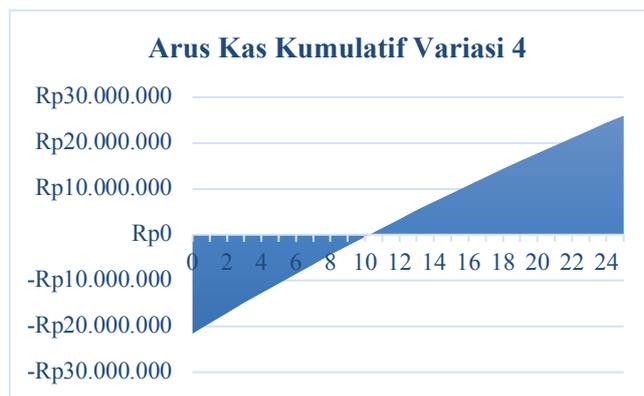
Gbr 10. Arus Kas Kumulatif variasi 1



Gbr 11. Arus Kas Kumulatif variasi 2



Gbr 12. Arus Kas Kumulatif variasi 3



Gbr 13. Arus Kas Kumulatif variasi 4

Berdasarkan gambar 10, gambar 11, gambar 12, dan gambar 13 dapat dibuat tabel nilai DPP sebagai berikut. Tabel 22. Nilai DPP Variasi 1, 2, 3 dan 4

Nama Variasi	DPP
1	10,47
2	10,07
3	10,62
4	10,22

Berdasarkan tabel 22, nilai DPP pada masing-masing variasi bernilai kurang dari umur proyek yaitu 25 tahun sehingga dapat dikatakan bahwa investasi PLTS skala Perkantoran untuk masing-masing variasi layak dilaksanakan, dimana investasi dengan nilai DPP terkecil adalah variasi 2 sehingga investasi yang paling cepat mengalami balik modal adalah investasi variasi 2.

BAB IV. KESIMPULAN

Sistem pembangkit listrik tenaga surya yang dirancang dalam penelitian ini adalah sistem pembangkit yang terhubung dengan jaringan listrik (on-grid). Perencanaan pembangkit listrik tenaga surya memiliki 4 variasi yang masing-masing memiliki konfigurasi dengan menggunakan $3 \times 405 = 1215$ Wp of PV and inverter 1000 W. Energi listrik yang dihasilkan dari PLTS skala perkantoran yang dirancang di lokasi penelitian ini berkisar antara 1877-1898 kWh dengan rasio kinerja berkisar antara 83-83,9 %. Berdasarkan rasio kinerja yang diperoleh, variasi yang paling layak dilaksanakan berdasarkan hasil simulasi pada penelitian ini adalah variasi 4 dengan nilai rasio kinerja sebesar 83,9 %.

Berdasarkan analisis ekonomi teknik yang dilakukan, investasi yang paling layak dilaksanakan adalah variasi 2, karena memiliki nilai NPV terbesar, yaitu Rp 26.243.658 dan nilai DPP terkecil yaitu 10,07 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] H. Dennis L, "The Global Energy Balance," in *Global Physical Climatology*, 2nd ed., Elsevier, 2016, pp. 25–48.
- [6] J. Windarta, Denis, A. Nugroho, and B. Bagaskoro, "Design and Analysis of Technical Economics of Off-grid Systems Solar Power Plant Using Homer at Cemara Island, Brebes Regency," *E3S Web Conf.*, vol. 125, no. 201 9, pp. 2–7, 2019, doi: 10.1051/e3sconf/201912511002.
- [7] J. Windarta, A. Pratama, Denis, and A. Nugroho, "Testing of Solar Power Plant Components Off-Grid Systems and Engineering Economic Analysis at Cemara Island, Brebes Regency, Indonesia," *E3S Web Conf.*, vol. 125, no. 201 9, 2019, doi: 10.1051/e3sconf/201912510003.
- [8] I. K. Agus Setiawan, I. N. Satya Kumara, and I. W. Sukerayasa, "ANALISIS UNJUK KERJA PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA SURYA (PLTS) SATUMWp TERINTERKONEKSI JARINGAN DI KAYUBIHI, BANGLI," *Maj. Ilm. Teknol. Elektro*, vol. 13, no. 1, pp. 27–33, 2014, doi: 10.24843/10.24843/MITE.
- [9] D. L. King, Boyson; William E., and Kratochvil; Jay, "King," in *Conference Record of the Twenty-Ninth IEEE Photovoltaic Specialists Conference*, 2002, pp. 1356–1361, doi: 10.1109/PVSC.2002.1190861.
- [10] *Utility-Scale Solar Photovoltaic Power Plants a Project Developer's Guide*. Washington, D.C., 2015.
- [11] I. N. Pujawan, *Ekonomi Teknik Edisi 3*. Yogyakarta: LAUTAN PUSTAKA, 2019.
- [12] "NASA Prediction of Worldwide Energy Resources." [Online]. Available: <https://power.larc.nasa.gov/data-access-viewer/>. [Accessed: 02-Jun-2020].
- [13] 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.

- [14] “Monetary Data Bank Indonesia.” [Online]. Available: <https://www.bi.go.id/en/moneter/Contents/Default.aspx> .