

RANCANG BANGUN SISTEM PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA SURYA TERHUBUNG DENGAN JARINGAN LISTRIK PLN PADA KANTOR DI BINTARO - JAKARTA SELATAN

Brilliant* Robinson Purba Atmonobudi Soebagio
Program Studi Teknik Elektro Fakultas Teknik – Universitas Kristen Indonesia
*Korespondensi: brilliant_id@yahoo.com; +62 821 14704817

Abstrak – Makalah ini membahas tentang perancangan dan pembangunan sistem pembangkit listrik tenaga surya (PLTS) pada gedung kantor 3-lantai di kawasan Bintaro. Isi makalah mencakup pembahasan tentang biaya yang dikeluarkan untuk membangun PLTS, serta analisis nilai investasinya dengan menggunakan *software RETScreen Expert*. Perhitungan untuk mendapatkan kapasitas PLTS didasarkan pada luas atap dan beban listrik kantor tersebut. Sistem PLTS ini akan diintegrasikan dengan jaringan listrik Perusahaan Listrik Negara (PLN) dalam melayani beban listrik pada kantor di setiap lantai. Jenis modul *Photovoltaic* (PV) yang digunakan kapasitas 305 Wp per modul. Nilai investasi disimulasikan dengan asumsi penggantian baterai setiap 3 tahun, pelunasan pinjaman selama 10 tahun dengan uang muka 50%, suku bunga sebesar 5,75% dan inflasi sebesar 3,28%. Dari simulasi juga diperoleh perbandingan investasi antara penggantian baterai 3 tahun sekali dengan 10 tahun sekali, yang menjadi dasar keputusan bagi pihak pemilik PLTS untuk menetapkan skema pilihannya.

Kata Kunci: PLTS, Hybrid, Baterai, Inverter, RETScreen

Abstract - This paper discusses the design and construction of a solar powered generation system (PVs) in a 3-storey office building in the Bintaro area. The paper discusses the costs to build PVs, as well as an analysis of the value of investments using *RETScreen Expert* software. The calculation to get the PVs capacity is based on the area of the roof and the electricity load of the office. This PV system will be integrated with the PLN electricity network in serving electricity loads in offices on each floor. The type of PV module has 305Wp capacity per module. The investment value is simulated with the assumption that battery units are replaced every 3 years, repayment of the loan for 10 years with an advance of 50%, an interest rate of 5.75% and inflation of 3.28%. From the simulation we also obtained a comparison of investments between replacing the battery units once every 3 years with every 10 years, which became the basis for the decision of the PLTS owner to determine the scheme to be choiced.

Keywords; Photovoltaic, Hybrid, Battery, Inverter, RETScreen

I. PENDAHULUAN

Energi listrik sudah menjadi kebutuhan pokok di Indonesia, khususnya di daerah perkotaan. Hal ini dapat dilihat pada beberapa hari lalu tepatnya tanggal 4 Agustus 2019, dimana turbin pada pembangkit di surabaya mengalami gangguan sehingga mengakibatkan pemadaman listrik (*blackout*) yang cukup lama di Jakarta dan sekitarnya. Akibatnya, beberapa aktifitas masyarakat terganggu, selain pekantoran yang tidak dapat beroperasi, hingga terganggunya jaringan internet. Pemadaman listrik tersebut tidak dialami pekantoran yang dilengkapi pembangkit energi alternatif, seperti generator darurat. Namun, penggunaan generator berbahan bakar fosil menimbulkan polusi udara (karbon dioksida) dan polusi suara (bising). Penggunaan PLTS pada atap kantor juga dapat mengatasi masalah *blackout* dan sekaligus ramah lingkungan.

Tujuan penelitian ini, antara lain untuk merancang dan membangun sebuah sistem PLTS yang terkoneksi dengan jaringan PLN, sehingga PLTS dan PLN dapat “bekerja sama” dalam memasok daya listrik ke beban. Lebih jauh, sistem PLTS juga siap untuk mengeksport kelebihan daya listriknya ke PLN pada saat beban listrik kantor rendah. Selain perhitungan rancang-bangun, makalah ini juga membahas analisis biaya dari pembangunan PLTS menggunakan *software RETScreen*.

II. PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA SURYA

Energi surya atau energi matahari merupakan sumber energi yang penting bagi bumi. Energi ini dipancarkan oleh matahari secara seragam kesegala arah dengan rumus *Planck's blackbody* seperti diperlihatkan pada persamaan (1).

$$w_{\lambda} = \frac{2\pi hc^2 \lambda^{-5}}{e^{\lambda k_B T} - 1} \quad (1)$$

dimana,

w_{λ} = Kerapatan Radiasi Spektrum Elektromagnetik
(W/m²/satuan panjang gelombang dalam meter)

c =

laju cahaya pada medium, meter per second (m/s)

λ = Panjang gelombang, meter (m)

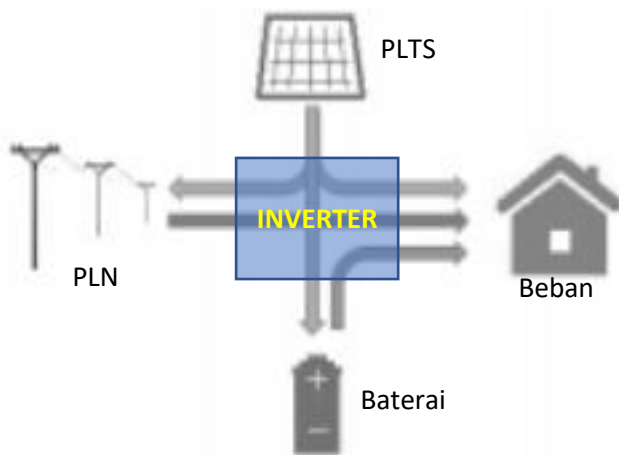
T = Temperatur, derajat kelvin (°K)

h = 6.63×10^{-34} watt second² (Planck's Constant)

k_B = 1.38×10^{-23} joules/K (Boltzmann's Constant)

Persamaan (1) menghasilkan kepadatan energi dipermukaan matahari, dan menempuh jarak kira-kira 150 juta kilometer untuk sampai ke bumi dengan kepadatan energi ekstraterestrial yang telah berkurang menjadi 1367 watt per meter persegi (W/m²).

Prinsip kerja PLTS adalah dengan mengonversikan energi photon matahari menjadi energi listrik. Energi tersebut disimpan pada baterai melalui konverter yang dapat mengatur atau membatasi besarnya arus pengisian baterai. Fungsi *inverter* adalah mengubah arus searah yang berasal dari baterai menjadi arus bolak-balik sebelum dialirkan ke beban listrik, maupun ke jaringan listrik PLN bila beban listrik kantor rendah. Daya listrik dari PLN juga diterima inverter untuk digabungkan dengan daya yang tersimpan di baterai dalam memasok daya bagi beban. Untuk bagan diagramnya PLTS yang terintegrasi dengan jaringan listrik PLN diperlihatkan pada gambar 1.



Gambar 1: Bagan Diagram PLTS

Pada penelitian ini juga dihitung nilai investasi dari pembangunan PLTS dengan asumsi umur PLTS 30 tahun. Biaya investasi awal sebesar 50% dari total biaya pembangunan PLTS, dan sisanya sebanyak 50% lagi dipinjam melalui *bank* dengan angsuran selama 10 tahun.

Selain biaya angsuran, ada juga biaya penggantian (*periodic cost*) baterai setiap 3 dan 10 tahun sekali. Perhitungan nilai investasi ini menggunakan *software RETScreen Expert*.

III. PERHITUNGAN PARAMETER

3.1 Rancangan PLTS

Untuk menentukan kapasitas PLTS yang akan dibangun, pertama-tama harus disurvei seluruh beban yang digunakan di kantor. Beban yang digunakan antara lain Air Conditioning (AC), lampu, stop kontak dan sebagainya. Tabel 1 memperlihatkan besarnya daya total yang perlu dibangkitkan oleh PLTS.

Tabel 1: Data Beban Total Kantor yang akan dilayani PLTS.

Nama Peralatan Listrik	Volume	Daya Listrik (watt)	Total Daya (watt)
	A	B	C = A x B
Lantai 1 (dasar)			
AC 1 Paard Kracht (PK)	1	780	780
AC 1/2PK	1	380	380
Lampu Downlight	15	7	105
Stop Kontak	6	200	1200
Pompa Air	1	250	250
Sub Total Daya Lt.1			2.715
Lantai 2			
AC 1PK	2	780	1560
Lampu Downlight	18	7	126
Stop Kontak	6	200	1200
Sub Total Daya Lt.2			2.886
Lantai 3			
AC 1PK	2	780	1560
Lampu Downlight	18	7	126
Stop Kontak	5	200	1000
Mesin Foto Copy	1	1000	800
Sub Total Daya Lt.3			3.486
			9.087

Dari data di atas dapat dilihat bahwa total beban yang akan disuplai adalah sebesar 9.087 watt (W) atau sebesar 9,09 kilowatt (kW). Modul PV yang digunakan adalah kapasitas 305 watt peak (Wp), sehingga modul yang dibutuhkan dapat dihitung melalui persamaan (2).

$$\text{Jumlah PV dibutuhkan} = \frac{\text{total daya beban}}{\text{daya modul PV}} \quad (2)$$

Sesuai persamaan (2) di atas, maka jumlah PV yang dibutuhkan adalah:

$$\text{Jumlah PV dibutuhkan} = \frac{9.087 \text{ watt}}{305 \text{ watt/modul}} = 30 \text{ modul}$$

Setelah diperoleh jumlah modul yang akan dipasang, langkah selanjutnya adalah menentukan dimana modul-

modul PV akan dipasang dan mengukur seberapa luas lahan yang dimiliki untuk modul-modul PV tersebut.

Luas setiap modul PV adalah 2 m², sedangkan luas dari atap gedung kantor adalah 70 m², sehingga jumlah modul PV dapat dihitung berdasarkan persamaan (3).

$$\text{Jumlah PV (berdasarkan luas tersedia)} = \frac{\text{Luas tersedia}}{\text{luas modul PV}} \quad (3)$$

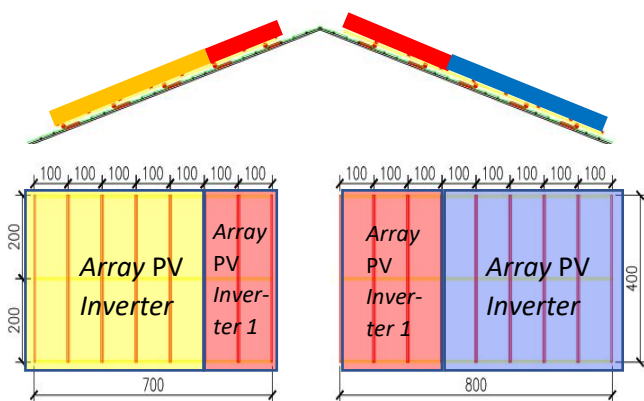
Berdasarkan persamaan (3) di atas, maka jumlah modul yang dapat dipasang adalah:

$$\text{Jumlah PV (berdasarkan luas tersedia)} = \frac{60 \text{ m}^2}{2 \frac{\text{m}^2}{\text{modul}}} = 30 \text{ modul}$$

Dari hasil perhitungan diatas, jumlah modul PV yang dapat dipasang pada atap gedung dengan jumlah modul yang digunakan pada penelitian ini sama, sehingga tidak terjadi pengurangan jumlah modul PV. Pada penelitian ini, PLTS dibagi menjadi 3 sistem terpisah untuk melayani beban pada lantai 1, 2, 3. Oleh karena itu berdasarkan Tabel 1 dan faktor beban yang di asumsikan 75 % (karena tiap peralatan tidak dinyalakan secara bersamaan), maka pembagian kapasitas tiap-tiap lantai kurang lebih adalah 3000 W, sehingga jumlah modul PV masing-masing sistem dapat dihitung menggunakan persamaan (2).

$$\text{Jumlah modul PV} = \frac{3000 \text{ watt}}{305 \text{ watt/modul}} = 9.8 \text{ dibulatkan menjadi } 10 \text{ modul}$$

Penempatan masing-masing rangkaian modul PV tiap sistem seperti ditunjukkan pada gambar 2 dibawah ini.



Gambar 2: Posisi Masing-masing Array PV pada Atap Gedung Kantor

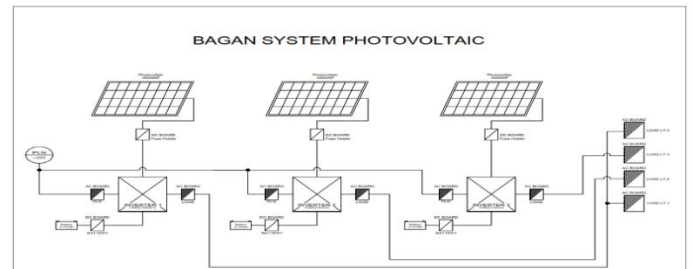
Setelah mengetahui kapasitas daya PLTS yang dipasang, selanjutnya menentukan inverter yang akan dipakai. Sistem PLTS yang dibuat adalah terintegrasi dengan PLN, artinya PLTS dan PLN “bekerjasama” dalam menyuplai kebutuhan beban listrik, oleh karena itu

inverter yang digunakan adalah inverter dengan sistem hybrid. Kapasitas inverter yang digunakan juga menyesuaikan dengan daya yang akan dibangkitkan. Dalam penelitian ini digunakan inverter kapasitas 3000W tipe hybrid dengan efisiensi 95%.

Selain inverter, sistem ini juga membutuhkan baterai sebagai tempat penyimpanan energi yang telah dibangkitkan oleh modul PV. Baterai yang digunakan khusus untuk pemakaian berulang-ulang (*deep cycle*) yang memang dirancang khusus untuk PLTS, sehingga umur pemakaiannya lebih lama dari pada baterai umum lainnya. tipe baterai yang digunakan dalam penelitian ini adalah *Valve Regulated Lead Acid* (VRLA) dengan *Depth of Discharge* 30 % kapasitas sebesar 150 ampere-hour (Ah), 12 volt (V) sebanyak 4 unit setiap sistemnya.

Hal terakhir yang harus diperhitungkan dalam pemasangan PLTS ini adalah sistem pengamanan dari masing-masing komponen, seperti pengamanan pada input modul PV, pengamanan pada beban, maupun pengamanan pada input baterai.

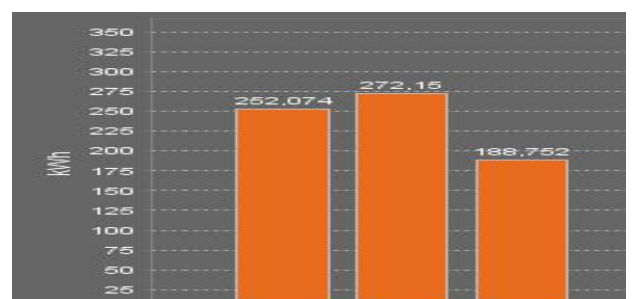
Setelah semua komponen sudah ditentukan jumlah dan kapasitasnya, maka selanjutnya adalah merangkai seluruh komponen tersebut seperti gambar 3.



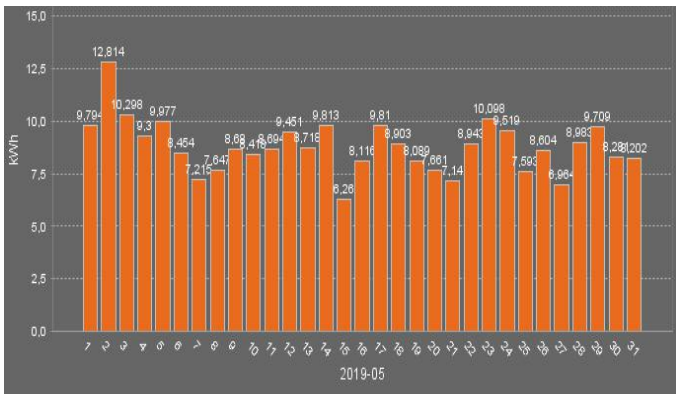
Gambar 3: Instalasi Sistem PLTS yang dibangun

3.2 Data Hasil Penelitian

Setelah PLTS dioperasikan kurang dari tiga bulan, didapatkan hasil pembangkitan energi listrik seperti pada gambar 4 dibawah ini.



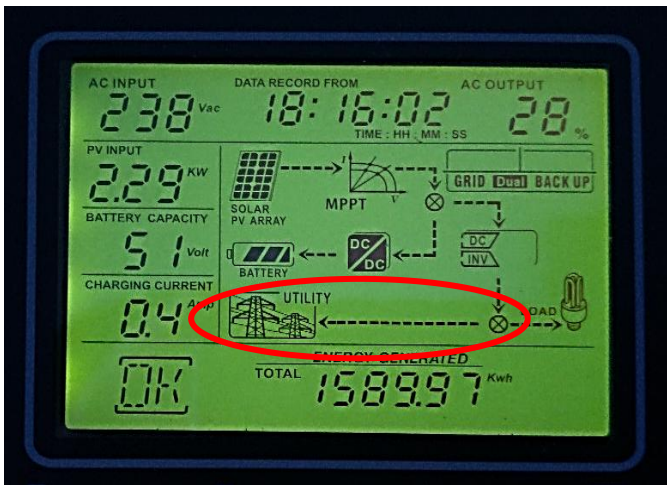
Gambar 4 memperlihatkan grafik dari pembangkitan energi listrik pada satu sistem, terlihat daya yang dibangkitkan selama bulan April 2019 adalah sebesar 252 kWh, pada bulan Mei 2019 sebesar 272 kWh, dan pada pertengahan bulan Juni 2019 adalah sebesar 188,8 kWh.



Gambar 5: Pembangkitan daya listrik selama bulan Mei 2019.

Gambar 5 memperlihatkan pembangkitan energi listrik oleh salah satu sistem pada bulan Mei 2019 tiap harinya. Tampak pada gambar bahwa energi yang dibangkitkan tiap harinya tidak konstan. Hal ini disebabkan oleh faktor-faktor yang mempengaruhi pembangkitan energi pada modul PV, seperti temperatur suhu, lapisan atmosfer, radiasi matahari, dan sebagainya. Dari data diatas dapat ditentukan rata-rata pembangkitan setiap harinya kurang lebih sebesar 9 kWh untuk satu sistem PLTS.

Gambar 6 memperlihatkan bahwa PLN tidak mengirim energi listrik, melainkan menerima energi listrik yang dibangkitkan oleh PLTS.



Gambar 6: Tampilan/ Display Salah Satu Inverter

Dari gambar 6, jumlah yang dikirimkan ke PLN dapat dihitung seperti berikut:

Daya masuk (*input*) dari PV adalah 2,29 kW, beban yang digunakan sebesar 28% dari *input* PV atau sebesar 0,64 kW. Jika daya yang digunakan untuk mengisi baterai diabaikan, maka daya yang tidak terpakai yang dikirim ke PLN sebesar:

$$\text{Ekspor ke PLN} = \text{Input PV} - \text{Beban pemakaian.}$$

$$\text{Ekspor ke PLN} = 2.290 \text{ W} - 641,2 \text{ W}$$

$$\text{Ekspor ke PLN} = 1.648,8 \text{ W} = 1,6 \text{ kW}$$

3.3 Perhitungan biaya investasi dengan RETScreen.

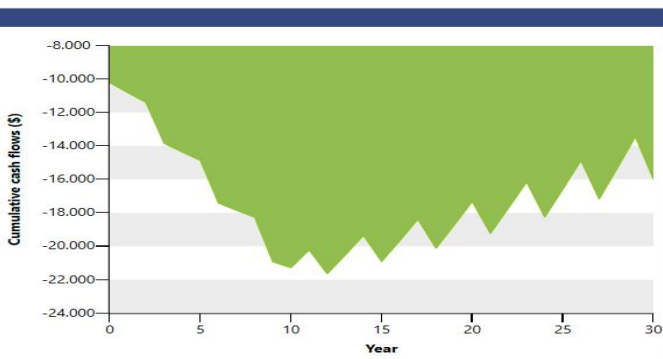
Untuk mengetahui nilai investasi dari pembangunan PLTS ini, pertama-tama harus dirinci terlebih dahulu biaya yang dikeluarkan untuk pembangunan PLTS. Biaya pembangunan dapat dilihat pada tabel 2 dibawah ini.

Tabel 2: Data Biaya Pembangunan PLTS

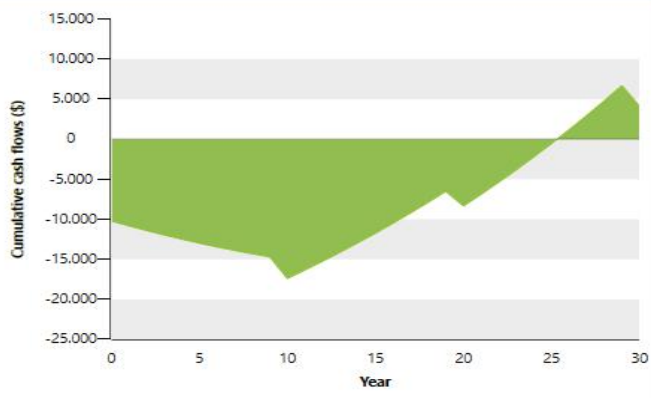
No.	URAIAN	QTY	SATUAN	HARGA SATUAN	JUMLAH
1.	Solar Module 305Wp	30	lembar	Rp. 4.100.000	Rp. 123.000.000
2.	Inverter Hybrid 300W	3	unit	Rp. 20.000.000	Rp. 60.000.000
3.	Battery kap. 150Ah/12V	12	unit	Rp. 6.000.000	Rp. 72.000.000
4.	AC Board 8Group	3	unit	Rp. 250.000	Rp. 750.000
5.	DC Board 8 Group	3	unit	Rp. 250.000	Rp. 750.000
6.	Kabel DC 2x4mm2	150	meter	Rp. 42.500	Rp. 6.375.000
7.	Kabel NYY 4x6mm2	45	meter	Rp. 68.000	Rp. 3.060.000
8.	Kabel NYAF 1x4mm2	30	meter	Rp. 15.300	Rp. 459.000
9.	MCCB 100A/36Ka/3P	3	unit	Rp. 800.000	Rp. 2.400.000
10.	MCB 16A/6Ka/2P	3	unit	Rp. 400.000	Rp. 1.200.000
11.	MCB 6A/6Ka/2P	3	unit	Rp. 220.000	Rp. 660.000
12.	Fuse 10A	2	unit	Rp. 25.000	Rp. 50.000
13.	Single Connection PV	6	buah	Rp. 45.000	Rp. 270.000
14.	COS type MCB 40A 4P	3	unit	Rp. 425.000	Rp. 1.275.000
15.	Rangka Solar + battery	3	set	Rp. 1.500.000	Rp. 4.500.000
16.	Material Bantu	1	Lumpsum	Rp. 1.000.000	Rp. 1.000.000
17.	Upah Tenaga Pasang	1	Lumpsum	Rp. 5.000.000	Rp. 5.000.000
18.	Biaya lain-lain (pengiriman, transportasi, dll)	1	Lumpsum	Rp. 2.000.000	Rp. 2.000.000
				Total	Rp. 284.749.000

Biaya pembangunan PLTS kemudian dimasukkan ke *software RETScreen* untuk diolah. Suku bunga dan nilai inflasi diambil dari data Bank Indonesia (BI) pada tanggal 18 juni 2019, yaitu suku bunga sebesar 5,75% dan inflasi 3,28%

Gambar 7 dan 8 merupakan grafik dari hasil simulasi yang dilakukan dengan *RETScreen*. Gambar 7 menunjukkan hasil dari simulasi penggantian baterai (*periodic cost*) setiap 3 tahun, sedangkan gambar 8 untuk penggantian baterai setiap 10 tahun.



Gambar 7: Grafik nilai investasi dengan penggantian baterai



Gambar 8: Grafik nilai investasi dengan penggantian baterai

IV. ANALISIS

Selama dioperasikan, PLTS yang telah dibangun tidak terjadi masalah, seperti gangguan trip akibat kesalahan sistem dan sebagainya. Sistem dapat beroperasi dengan normal, bahkan dalam kondisi tertentu dimana konsumsi energi listrik tidak banyak, sehingga membuat energi yang dibangkitkan oleh PLTS tidak terpakai sepenuhnya, maka energi yang dibangkitkan dapat di-export kepada jaringan PLN. Export kepada PLN dapat dilakukan bila kilowatt-hour meter (kWh meter) yang digunakan adalah kWh meter *Export-Import* (exim). Apabila bukan kWh meter exim yang digunakan, maka pelanggan PLN harus mengganti kWh meter konvensional dengan kWh meter exim tersebut. Penggantian ini dapat dilakukan dengan menghubungi/membuat pengajuan kepada PLN.

Simulasi dari RETScreen menunjukkan hasil nilai investasi berbeda untuk penggantian baterai setiap 3 tahun dan 10 tahun, artinya semakin singkat umur pemakaian dari baterai maka akan semakin besar biaya yang dikeluarkan.

V. KESIMPULAN

1. Pada perancangan yang dibuat, total modul PV yang digunakan adalah 30 modul dengan kapasitas masing-masing sebesar 305 Wp. Baterai yang digunakan sebanyak 12 buah, dimana masing-masing sistem menggunakan 4 buah baterai yang dirangkai seri untuk memenuhi input/ masukan baterai kepada inverter.
2. Energi Rata-rata yang dibangkitkan setiap sistem PLTS dalam satu hari kurang lebih sebesar 9 kWh
3. Daya yang di-export ke PLN pada saat input dari PV sebesar 2,29 kW dan pemakaian beban 28% adalah 1,6 kW.
4. Nilai investasi yang disimulasikan menggunakan *software RETScreen* dengan asumsi penggantian baterai setiap 3 dan 10 tahun, pelunasan pinjaman selama 10 tahun dengan uang muka 50%, suku bunga sebesar 5,75% dan inflasi sebesar 3,28%, didapatkan hasil untuk sistem dimana penggantian baterai dilakukan setiap 3 tahun sekali selama 30 tahun umur PLTS belum dapat mengembalikan biaya modal dari pembangunan PLTS, sedangkan untuk sistem dimana penggantian baterai dilakukan setiap 10 tahun sekali selama 30 tahun umur PLTS, pada tahun ke-25 biaya modal dari pembangunan PLTS sudah didapatkan sehingga tahun ke-26 dan seterusnya adalah keuntungan menggunakan listrik gratis.

REFERENSI

- [1] Bien, L. E. Ishak Kasim, Wahyu Wibowo, 2008 (republish 2013). "Perancangan Sistem Hybrid Pembangkit Listrik Tenaga Surya dengan Jala-jala Listrik PLN Untuk Rumah Perkotaan", ISSN 1412-0372, Jurnal Teknik Elektro, Vol.8 No.1, Universitas Trisakti, Jakarta.
- [2] Sunanda, Wahri. Rika Favoria Gusa, 2016. "Analisis Peluang Penghematan Ekonomi Sistem Fotovoltaik Terhubung Jaringan Listrik Pada Kawasan Perumahan Di Kota Pangkal Pinang". ISBN 979-587-617-1, Jurnal Teknik Elektro, Universitas Bangka Belitung.
- [3] Kusakana, Kanzumba. 2016. "Optimal Operation Control of a Grid-Connected Photovoltaic-Battery Hybrid System". Jurnal IEEE PES Power Africa Confrence. Bloemfontein. South Africa.
- [4] Albadi M, H. dan rekan. 2014. "Design of a 50kW Solar PV Rooftop System". International Journal of Smart Grid and Clean Energy.
- [5] Data Inventory Emisi GRK Sektor Energi, ESDM, 2016, halaman 47.

- [6] Messenger, Roger A dan Jerry Ventre. 2005. *“Photovoltaic System Engineering: Second Edition”*. ISBN 0-203-50629-4. CRC Press.
- [7] Artikel online:
<https://id.wikipedia.org/wiki/RETScreen> diakses pada tanggal 15 juli 2019.
- [8] Energising Development (EnDev) Indonesia. 2018. *“Instalasi Pembangkit Listrik Tenaga Surya Dos % Don'ts*. GIZ. Jakarta.
- [9] Suharsaputra, Uhar Dr. M.Pd. 2012. *“Metode Penelitian: kuantitatif, kualitatif, dan tindakan”*. ISBN 978-602-8650-70-0. IKAPI