

Desain Sistem Panel Surya On-Grid Untuk Skala Rumah Tangga Menggunakan Perangkat Lunak HOMER

(*On-Grid Photovoltaic Systems Design using HOMER Software for Residential Load*)

Bandiyah Sri Aprillia^{[1]*}, Desri Kristina Silalahi^[2], Muhammad Agung Foury Rigoursyah^[3]

^[1,2,3]Fakultas Teknik Elektro
Universitas Telkom, Bandung, Indonesia

E-mail¹: bandiyah@telkomuniversity.ac.id

E-mail²: desrikristina@telkomuniversity.ac.id

E-mail³: magung1111@gmail.com

KEYWORDS:

Renewable Energi, HOMER, On Grid System, Residential load

ABSTRACT

Bandung is located on the island of Java with Latitude -7.5 and longitude 107.5. This location has average solar radiation of 4.89 KWh / m² per day so suitable for solar energy utilization. Solar energy can be converted into electrical energy through photovoltaic system so that it can be applied to residential load. The design of solar power plants for residential load requires accurate calculations. In this research, HOMER was used to evaluate the design of renewable energy on grid systems at residential load 900 VA in Bandung. The research method used are collecting solar radiation data, equipment specifications and 900 VA electrical load studies. Based on the results of the design on grid photovoltaic system using HOMER, the configuration of 6 PV 2040 Wp units, 4 unit batteries, and 2 kW inverter is the optimum configuration. The system configuration can provide 45.5% of the total daily load consumption with the lowest total Net Present Cost (NPC) is IDR 75,300,000.00. The On Grid system that has been designed will achieve an annual profit IDR 1,806,884.00 compared to conventional electricity usage (PLN) and only takes 7 years to recover investment costs.

KATA KUNCI:

Energi Terbarukan, HOMER, Sistem On Grid, Skala Rumah Tangga

ABSTRAK

Kota Bandung terletak di Pulau Jawa dengan posisi Latitude -7.5 dan longitude 107.5. Lokasi ini memiliki radiasi matahari rata – rata 4.89 KWh/m² setiap harinya sehingga cocok untuk pemanfaatan energi surya. Energi surya dapat dikonversikan menjadi energi listrik melalui panel surya sehingga dapat diterapkan untuk memenuhi kebutuhan listrik rumah tangga. Perancangan pembangkit listrik tenaga surya untuk skala rumah tangga membutuhkan perhitungan yang akurat. Pada penelitian ini, HOMER digunakan untuk mengevaluasi desain sistem on grid energi terbarukan pada skala rumah tangga 900 VA di Bandung. Metode penelitian yang digunakan adalah mengumpulkan data radiasi matahari, spesifikasi alat dan studi beban listrik 900 VA. Berdasarkan hasil perancangan sistem panel surya on grid menggunakan HOMER diperoleh konfigurasi 6 unit PV 2040 Wp, baterai 4 unit, dan inverter 2 kW merupakan konfigurasi yang optimum. Konfigurasi sistem tersebut dapat memenuhi kebutuhan beban listrik sebesar 45,5 % dari total konsumsi beban harian dengan total *Net Present Cost* (NPC) terendah yaitu sebesar Rp 75.300.000,00. Sistem On Grid yang telah dirancang akan meraih keuntungan pertahun sebesar 1.806.884 rupiah dibandingkan dengan penggunaan listrik secara konvensional (PLN) dan hanya membutuhkan 7 tahun untuk memulihkan biaya investasi.

I. PENDAHULUAN

Indonesia adalah negara yang terdiri dari 17.504 pulau dan mempunyai total penduduk 267 juta dan

terus meningkat setiap tahunnya. Jumlah penduduk terus meningkat membuat kebutuhan listrik meningkat seiring meningkatnya jumlah penduduk.

Menurut Badan Pusat Statistik (BPS) jumlah pengguna listrik terus meningkat dengan total pengguna listrik mencapai 68.068.283 pelanggan. Dibandingkan dengan tahun 2016 angka ini naik sebesar 3.785.790 pelanggan atau 5,9 %. Jumlah pelanggan seluruhnya, kelompok rumah tangga merupakan jumlah pelanggan terbesar yaitu 62.543.434 pelanggan atau 91,88 % [1]. Namun menurut Kementerian ESDM, 2017, pembangkit listrik yang dimiliki negara yakni Perusahaan Listrik Negara (PLN) untuk mensuplai kebutuhan pengguna listrik di Indonesia lebih banyak berasal dari sumber energi tidak terbarukan (93,8%) daripada sumber energi terbarukan (6,2%).

Sebagian besar sistem energi di berbagai negara, baik yang dikembangkan maupun yang sedang dikembangkan, didasarkan pada bahan bakar fosil [2]. Berdasarkan beberapa penelitian, penggunaan bahan bakar fosil menimbulkan masalah yang telah dianalisis dan diatasi dalam banyak penelitian [3]. Masalah-masalah yang terjadi seperti, dampak lingkungan, kelangkaan, risiko persediaan, dan ketidakstabilan harga dan pasar yang menyebabkan bahan bakar fosil di pusat pergeseran ekonomi karbon menjadi rendah [4]. Selain dampak lingkungan, bahan bakar fosil tidak terdistribusi secara merata sehingga menimbulkan kekhawatiran tentang persediaan energi. Hal ini dikarenakan bahan bakar fosil menjadi peran utama dalam sistem produksi energi saat ini [5]. Selain itu, fosil adalah sumber daya tidak terbarukan yang menimbulkan masalah ketersediaan untuk generasi yang akan datang.

Ketersediaan sumber energi tidak terbarukan ini perlahan lahan akan habis. Bahan bakar minyak bumi yang merupakan bahan bakar utama untuk menghasilkan energi listrik akan habis dalam kurun waktu 11 tahun mendatang. Pembangkit listrik energi terbarukan saat ini terus mengalami peningkatan dalam penggunaannya [6]. Peningkatan ini terjadi karena mengingat kenaikan kebutuhan energi listrik dunia setiap tahunnya mencapai 1,4%, maka pengembangan pembangkit listrik energi terbarukan terus dilakukan [7]. Melihat keadaan ini, perlu adanya sumber energi terbarukan yang dapat mensuplai energi listrik di Indonesia.

Pilihan sumber energi terbarukan yang dinilai cukup efisien di Indonesia adalah radiasi matahari.

Hal ini dikarenakan Indonesia merupakan negara tropis dan letak Indonesia yang dilintasi oleh garis khatulistiwa. Radiasi matahari dapat diubah menjadi listrik dengan fotovoltaiik. Sistem fotovoltaiik adalah satu set lengkap komponen yang saling berhubungan untuk mengubah sinar matahari menjadi listrik dengan proses fotovoltaiik termasuk susunan, keseimbangan sistem, dan beban [8].

Salah satu kota yang ada di Indonesia adalah Bandung, Kota Bandung terletak di Pulau Jawa dengan posisi Latitude -7.5 dan longitude 107.5. Lokasi ini memiliki radiasi matahari rata – rata 4.89 KWh/m² untuk setiap harinya. Besaran potensi radiasi matahari dapat diaplikasikan sebagai sumber pembangkit utama di berbagai daerah. Salah satu pembangkit listrik yang menggunakan energi terbarukan adalah sistem photovoltaiik. Sistem photovoltaiik merupakan penyediaan energi listrik yang sumbernya menggunakan energi terbarukan yaitu radiasi matahari. Namun, instalasi panel surya tergolong lebih mahal dibanding membayar tarif PLN perbulannya. Tarif PLN pada saat ini adalah Rp 1.600,00/KWh, sedangkan instalasi panel surya bisa mencapai puluhan sampai ratusan juta untuk memenuhi kebutuhan listrik di rumah tinggal.

Perancangan pembangkit listrik energi terbarukan dalam perkembangannya ada yang secara tunggal maupun sistem hibrida [9]. Sistem hybrid di sini merupakan penggabungan dua catu daya yaitu catu daya jala-jala PLN (Perusahaan Listrik Negara) dan tenaga surya. Dibutuhkan instalasi panel surya yang sesuai untuk kebutuhan rumah tinggal yaitu menggabungkan sumber energi dari PLN dengan instalasi panel surya. Rasio daya yang dihasilkan adalah 50:50. Instalasi ini diharapkan sebagai instalasi yang murah namun mampu mengimbangi daya yang keluar dari sumber PLN.

Energi matahari yang dimanfaatkan dapat dilakukan dengan menggunakan panel surya (*solar module*). Panel surya akan mengkonversikan radiasi dari matahari menjadi energi listrik secara langsung, sehingga dapat diterapkan untuk memenuhi kebutuhan listrik rumah tangga. Perancangan pembangkit listrik tenaga surya untuk skala rumah tangga membutuhkan perhitungan yang akurat agar biaya ke depan tetap ekonomis, efektif, dan efisien. Oleh karena itu, diperlukan alat yang dapat membantu untuk melakukan proses simulasi dan

optimalisasi. Perangkat atau tool yang dapat digunakan adalah berupa software HOMER (*Hybrid Optimization Model for Electric Renewable*).

Penelitian yang sudah pernah dilakukan dengan membahas tentang penggunaan program HOMER yakni untuk merancang sistem pembangkit listrik hibrida di sebuah desa terpencil di Propinsi Riau bernama Saik, yang memanfaatkan sumber energi terbarukan lokal [10]. Sumber energi terbarukan dengan sistem hibrida yang digunakan yakni energi sinar matahari dan hidrokinetik arus sungai, generator diesel dan baterai, untuk memberikan suplai listrik kepada masyarakat desa setempat. Hasil penelitiannya menyimpulkan bahwa HOMER adalah tool yang dapat membantu desainer sistem on grid ataupun off grid yang efektif dan efisien.

Pada penelitian ini, HOMER digunakan untuk mengevaluasi desain sistem on grid energi terbarukan pada skala rumah tangga 900 VA di Bandung. Parameter penting hasil evaluasi desain sistem diantaranya, perkiraan biaya instalasi, penggantian komponen, biaya operasi, biaya pemeliharaan, bunga, biaya net total masa kini atau disebut juga *Total Net Present Cost* (NPC), dan syarat batas biaya energi dapat disebut *Levelized Cost of Energy* (COE).

II. METODOLOGI

A. Kalkulasi Beban Listrik Skala Rumah Tangga

Studi beban listrik merupakan metode yang digunakan untuk menghitung konsumsi energi harian. Konsumsi energi listrik pada Tabel I didapatkan dengan cara pembuatan daftar beban listrik (kelompok beban, jenis beban, rating daya beban) dan pembuatan profil beban (waktu beban digunakan dan periode beban digunakan per hari)

TABEL I. KONSUMSI ENERGI LISTRIK SKALA RUMAH TANGGA

Jenis Beban Listrik	Jumlah	Jam aktif (jam)	Beban (W)	Total beban (W/hari)
Magic jar	1	24	250 (<i>cook</i>) 50 (<i>heat</i>)	1400
Kulkas	1	24	140	3360
Lampu	1	6	18	108
Lampu	9	1	12	108
Lampu	3	12	12	432
Lampu	1	13	24	312
TV	1	16	106	1696
Pemanas Air	1	3	350	1050

Jenis Beban Listrik	Jumlah	Jam aktif (jam)	Beban (W)	Total beban (W/hari)
Penghisap Asap	1	1	900	900
Kipas	1	14	46	644
Kipas	1	10	40	400
Dispenser	1	1	70	70
Charger	2	2	135	540
Charger	3	2	10	60
Charger	1	1	8	8
Charger	1	1	4	4
Setrika	1	0.25	350	87
Total				11.179

B. Spesifikasi Komponen untuk Sistem Panel Surya On grid

Perancangan sistem *on-grid* ini memakai 6 PV trina solar 340 Wp, inverter 2 KW, 4 buah baterai 12V/100AH yang dirangkai paralel. Speksifikasi tiap komponen dapat dilihat pada Tabel II berikut.

TABEL II. SPESIFIKASI SISTEM PANEL SURYA

Komponen	Spesifikasi
Trina Solar Monocrystalline	- 340 Wp
Inverter	- DC 12V/AC 220V - Pure Sine/ Grid Tie
Baterai VRLA (Valve Regulated Lead Acid)	- 12V/100AH

C. Kalkulasi Panel Surya yang Dibutuhkan

Rancangan instalasi panel surya mengacu pada beban yang akan dicatu. Instalasi panel surya ini di rancang untuk memenuhi 50 % kebutuhan beban listrik. Berikut merupakan perhitungan beban listrik dan panel surya yang dibutuhkan.

- Total daya per-hari = 11.179 KWh/hari
- Total energi panel surya = 11.179 KWh/hari
 $\sim 50\% \times 1.3$
 = 7.266 KWh/hari
 (50 % adalah persen untuk untuk dicatu panel surya, 1.3 adalah 1 – faktor daya)
- Total Wp yang di perlukan = $5.589/3.4$
 = 2.137 KWP
 = 2137 Wp
 (Faktor pembangkit panel surya adalah 3.4)
- Jumlah panel surya = $2137/340 = 6$
 buah
- Jumlah inverter = $2000/2137$
 = 1 = 1 buah (2 kWp per inverter).

Perhitungan harga instalasi panel surya

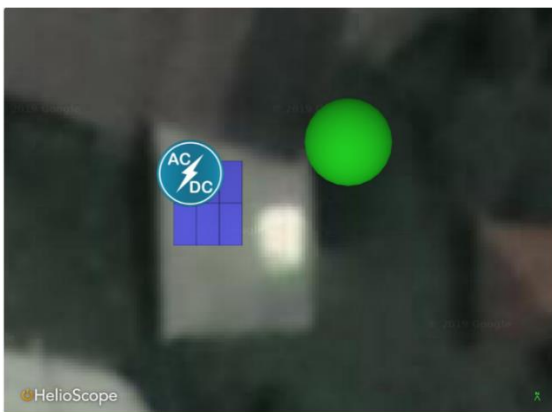
TABEL IV. HARGA KOMPONEN INSTALASI PANEL SURYA.

Barang	No.	Harga (Rp.)	Total (Rp.)
Panel surya 340 W	6	1,700,000/unit	10,200,000
Inverter	1	2,500,000/unit	2,500,000
Baterai	4	2,000,000/unit	8,000,000
Total			22,700,000

- Total beban listrik per tahun = 4.090 MWh/Tahun
- Total daya yang dihasilkan PV = 2.370 MWh
- Total daya yang dihasilkan PLN = 4.090 – 2.370 = 1.720 MWh
- Harga listrik PLN = 1600 Rupiah/KWh
- *Cost of energi* (per Unit) = (1.720 / 2.370) = 1.161 Rupiah/KWh

D. Perancangan rangkaian instalasi panel surya menggunakan Helioscope

Perancangan rangkaian instalasi panel surya dapat dilakukan secara simulasi menggunakan Helioscope. Helioscope merupakan aplikasi online yang dapat mensimulasikan rangkaian dengan input berupa luas lahan, Brand panel surya, Inverter, dll. Data yang didapat dari Helioscope dapat menjadi input pada HOMER sebagai input *costum*. Gbr 1 merupakan hasil simulasi pada Helioscope, rangkaian pada simulasi ini berlokasi di *Latitude* - 7.5 dan *longitude* 107.5.



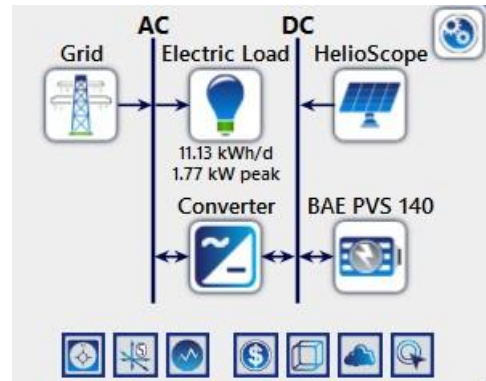
Gbr 1. Desain instalasi panel surya pada Helioscope

E. Desain Sistem On-Grid pada HOMER

HOMER adalah perangkat lunak untuk energi terbarukan yang di rancang oleh US NREL (labaratorium energi terbarukan nasional). HOMER mempermudah evaluasi desain sistem pembangkit listrik energi terbarukan baik yang tersambung ke

jaringan listrik (*On Grid*) maupun tidak tersambung (*Off Grid*).

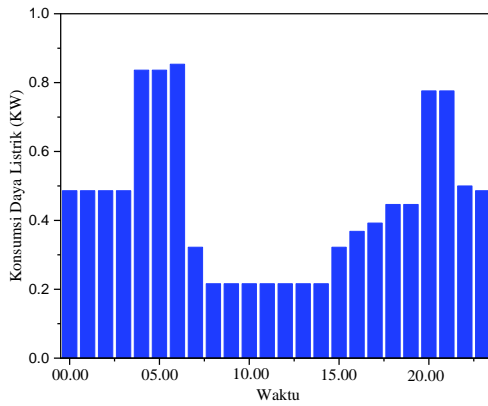
Secara umum masukan data pada HOMER berupa beban listrik per hari (KWh/hari), lokasi instalasi, spesifikasi teknis komponen instalasi, harga komponen instalasi. Pada penelitian ini, spesifikasi panel surya diambil dari Helioscope dengan menginput pada mode *costum*. Gbr 2 merupakan desain sistem *On grid* yang dirancang menggunakan HOMER.



Gbr 2. Perancangan sistem *on grid* energi terbarukan pada HOMER

Pada Gbr 2, panel surya difungsikan sebagai input DC yang tersambung langsung dengan baterai. Tegangan baterai dirubah menjadi AC oleh inverter lalu dialirkan pada beban listrik. Apabila energi dari baterai sudah tidak cukup untuk memenuhi kebutuhan load. Maka, beban listrik akan di catu oleh PLN.

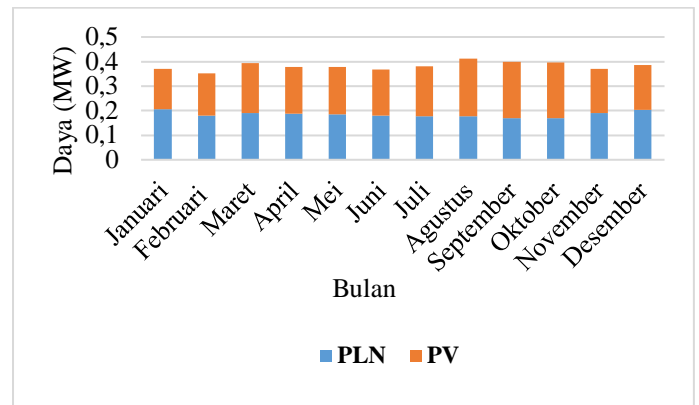
Gbr 3 menunjukkan profil beban harian yang dipakai pada rumah 900 VA. Pada instalasi dibuat sistem On Grid dengan 50% sumber energi terbarukan untuk memenuhi kebutuhan beban.



Gbr 3. Profil beban listrik harian skala rumah 900 VA.

Pada Gbr 3, Pukul 00.00 – 03.00 dan 22.00 – 23.00 memiliki profil beban listrik yang konstan di 0.5 KW karena hanya lampu, kulkas, *magic jer* dan kipas yang menyala pada jam tersebut. Sedangkan, pada pukul 04.00 hingga 0.6.00 terjadi kenaikan yang signifikan karena digunakan untuk menyalakan pemanas air. Penurunan kebutuhan listrik pada pukul 07.00 – 19.00 dikarenakan hanya beberapa perlengkapan berdaya kecil yang menyala seperti *magic jer* dan TV. Kenaikan yang cukup berarti pada pukul 20.00 -21.00 dikarenakan penyalaan alat penghisap debu.

Gbr 4 merupakan produksi listrik bulanan yang telah di kalkulasi oleh HOMER. Pada Gbr 4 dapat disimpulkan bahwa kontribusi energi dari panel surya berkisar 50% dari daya total produksi listrik.



Gbr 4. Daya yang dihasilkan oleh sistem

III. HASIL DAN DISKUSI

Hasil evaluasi sistem yang dirancang pada HOMER dapat memberikan beberapa kemungkinan konfigurasi. Semua konfigurasi yang memungkinkan akan disertai nilai NPC dari yang terendah sampai yang tertinggi. Hasil optimal tergantung pada faktor-faktor tertentu seperti, radiasi matahari dan fraksi energi terbarukan. Tujuan utama optimasi menggunakan HOMER adalah untuk menghitung biaya daya per kWh (COE) dan NPC.

Radiasi matahari rata-rata tahunan untuk kota Bandung adalah 4,89 kWh/m²/hari yang sebanding dengan radiasi global matahari 4.9 kWh/m²/hari sehingga tepat untuk implementasi sistem on grid panel surya. Pada Tabel V, kolom 1 menunjukkan sistem on grid yang terdiri dari, panel surya, inverter dan Baterai. Kolom 5 menunjukkan ukuran inverter dalam kW. Kolom 7 dan 8 menunjukkan biaya net total masa kini, syarat batas biaya energi masing-masing dalam Rupiah per kWh. Kolom 11 menunjukkan fraksi minimum yang dapat diperbarui 41.3 hingga 50.3.

TABEL V. KONFIGURASI SISTEM ON GRID OLEH HOMER.

Komponen	PV (unit)	Baterai (unit)	PLN	Inverter (KW)	Dispatch	NPC (Rp)	COE (Rp)	Biaya Operasional (Rp/tahun)	Biaya Instalasi (Rp)	Ren fraction (%)
PV + Baterai + PLN + Inverter	6	5	~	2	LF	74.8M	1,197	3.39M	22.7M	48.0
PV + Baterai + PLN + Inverter	6	5	~	2	LF	74.8M	1,197	3.39M	22.7M	48.0
PV + Baterai + PLN + Inverter	6	5	~	2	LF	74.8M	1,197	3.39M	22.7M	48.0
PV + Baterai + PLN + Inverter	6	5	~	2	LF	74.8M	1,197	3.39M	22.7M	48.0

Komponen	PV (unit)	Baterai (unit)	PLN	Inverter (KW)	Dispatch	NPC (Rp)	COE (Rp)	Biaya Operasional (Rp/tahun)	Biaya Instalasi (Rp)	Ren fraction (%)
PV + Baterai + PLN + Inverter	6	5	~	2	LF	74.8M	1,197	3.39M	22.7M	48.0
PV + Baterai + PLN + Inverter	6	4	~	2	LF	75.3M	1,206	3.55M	20.7M	45.5
PV + Baterai + PLN + Inverter	6	4	~	2	LF	75.3M	1,206	3.55M	20.7M	45.5
PV + Baterai + PLN + Inverter	6	6	~	2	LF	75.4M	1,208	3.30M	24.7M	49.4
PV + Baterai + PLN + Inverter	6	6	~	2	LF	75.4M	1,208	3.30M	24.7M	49.4
PV + Baterai + PLN + Inverter	6	3	~	2	LF	77.5M	1,241	3.82M	18.7M	41.3
PV + Baterai + PLN + Inverter	6	8	~	2	LF	78.5M	1,257	3.24M	28.7M	50.3
PV + Baterai + PLN + Inverter	6	5	~	2	CC	80.4M	1,288	3.76M	22.7M	42.4
PV + Baterai + PLN + Inverter	6	5	~	2	CC	80.4M	1,288	3.76M	22.7M	42.4
PV + Baterai + PLN + Inverter	6	5	~	2	CC	80.4M	1,288	3.76M	22.7M	42.4
PV + Baterai + PLN + Inverter	6	5	~	2	CC	80.4M	1,288	3.76M	22.7M	42.4

Sistem *On Grid* untuk skala rumah tangga 900 VA yang paling optimal ditunjukkan dengan konfigurasi 6 unit PV 2040 Wp, baterai 4 unit, dan inverter 2 kW. Konfigurasi sistem tersebut dapat memenuhi kebutuhan beban listrik sebesar 45,5% dengan konsumsi beban harian 11.13 kWh/hari. Biaya pengadaan komponen mencapai Rp 22.700.000,00. Biaya tersebut terbilang cukup mahal, tetapi dengan adanya sistem *on grid*, biaya tersebut akan tertutupi dengan keuntungan penjualan listrik energi terbarukan (PV) ke jaringan listrik PLN. Karena tarif penjualan energi listrik dari konsumen yang menggunakan energi terbarukan jauh lebih besar dibandingkan tarif penjualan listrik dari PLN. Biaya total yang harus dibayar selama masa proyek (30 tahun) untuk konfigurasi ini yaitu sebesar Rp75.300.000,00. Biaya tersebut akumulasi untuk masa 30 tahun, sedangkan untuk biaya total per harinya adalah Rp 209.166, 667. Selain itu, dengan penggunaan baterai lebih dari 4 unit dapat

menurunkan biaya operasional namun menaikkan biaya NPC dibandingkan penggunaan baterai hanya 4 unit. Karena dengan penggunaan baterai yang lebih dari 4 unit dapat menyimpan energi listrik yang lebih besar. Kemudian energi yang disimpan di dalam baterai dijual kembali ke grid (PLN). Semakin besar energi listrik yang dijual ke PLN, maka semakin besar keuntungan yang didapat (*rent friction* lebih besar) sehingga dapat menurunkan biaya operasional sistem akan tetapi menaikkan biaya net total masa kini (NPC).

TABLE VI. PERBANDINGAN PENGELUARAN PER TAHUN ANTARA PLN DAN SISTEM ON GRID.

Sistem	COE	Total kWh/Th	Total bill in Rp./Th	Save in Rp./Th
PLN	1600	4586	7,337,600	1,806,884
instalasi panel surya	1206	4586	5,530,716	

Tabel VI menunjukkan keuntungan yang didapat setiap tahun apabila menggunakan instalasi sistem

On Grid yang telah dirancang seperti Gbr 3. Keuntungan pertahun adalah 1,806,884 Rupiah.

Periode pengembalian (*Payback period*) berarti jumlah tahun yang dibutuhkan untuk memulihkan biaya investasi dan analisis manfaat biaya dari sistem [11], [12]. Parameter ini dipengaruhi oleh tarif per kwh/ jam, harga bahan bakar serta harga listrik yang meningkat dari hari ke hari. Pada Tabel VI dapat disimpulkan untuk sistem on grid yang telah dirancang akan membutuhkan 7 tahun untuk memulihkan biaya investasi.

TABEL VII. HASIL PERHITUNGAN PERIODE PENGEMBALIAN (*PAYBACK PERIOD*) PADA HOMER

Metrik	Nilai
Nilai Sekarang (Rp)	24.580.600
Nilai Tahunan (Rp/tahun)	1.599.003
Pengembalian Investasi (%)	10.9
Tingkat Pengembalian Internal (%)	13.9
Periode Pengembalian (tahun)	7.03
Diskon Periode Pengembalian (tahun)	8.88

IV. KESIMPULAN

Hasil perancangan sistem *On Grid* untuk skala rumah tangga 900 VA menggunakan HOMER merekomendasikan konfigurasi 6 unit PV 2040 Wp, baterai 4 unit, dan inverter 2 kW. Konfigurasi sistem tersebut dapat memenuhi kebutuhan beban listrik sebesar 45,5 % dari konsumsi beban harian dengan total biaya NPC terendah dibandingkan konfigurasi sistem yang lainnya yaitu sebesar Rp 75.300.000,00. Sistem panel surya *on grid* yang telah dirancang akan meraih keuntungan pertahun sebesar 1.806.884 rupiah dibandingkan dengan penggunaan listrik secara konvensional (PLN) dan hanya membutuhkan 7 tahun untuk memulihkan biaya investasi.

REFERENSI

- [1] Statistik Ketenagalistrikan 2017. Direktorat Jendral Ketenagalistrikan. Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral. Oktober 2018.
- [2] Y. Sugiawan and S. Managi, "New evidence of energy-growth nexus from inclusive wealth," *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, pp. 40–48, 2019.
- [3] B. Pillot, M. Muselli, P. Poggi, and J. B. Dias, "Historical trends in global energy policy and renewable power system issues in Sub-Saharan Africa: The case of solar PV," *Energy Policy*, pp. 113–124, 2019.
- [4] M. M. Khan *et al.*, "Triangular relationship among energy consumption, air pollution and water resources in Pakistan," *J. Clean. Prod.*, pp. 1375–1385, 2016.
- [5] K. Narula, "Global Energy System and Sustainable Energy Security," *Marit. Dimens. Sustain. Energy Secur.*, vol. 68, pp. 23–49, 2019.
- [6] D. Tiku, "Modular Multilevel MMI(HB) Topology for Single-Stage Grid Connected PV Plant," in *The 11 the IET International Conference on AC and DC Power Transmission*, 2015, pp. 1–8.
- [7] R. Abdullah and S. Subiyanto, "Sistem Hibrida Pembangkit Listrik Energi Terbarukan Terhubung Grid dengan Kerangka Referensi Natural," *JETri J. Ilm. Tek. Elektro*, vol. 16, no. 1, pp. 1–16, 2018.
- [8] M. R. Patel, *Wind and Solar Power Systems*. 2005.
- [9] J. Ahmed and Z. Salam, "A Modified P & O Maximum Power Point Tracking Method with Reduced Steady-State Oscillation and Improved Tracking Efficiency," *IEEE Trans. Sustain. Energy*, vol. 7, no. 4, pp. 1506–1515, 2016.
- [10] Kunaifi, "Program Homer Untuk Studi Kelayakan Pembangkit Listrik Hibrida di Provinsi Riau," *Semin. Nas. Inform. 2010 (semnasIF 2010) UPN "Veteran" Yogyakarta, 22 Mei 2010*, 2010.
- [11] M. A. Matin, Bhuiyan, A. Deb, and A. Nasir, "Optimum Planning of Hybrid Energy System Using Homer for Rural Electrification," *Int. J. Comput. Appl.*, vol. 66, no. 13, pp. 45–52, 2013.
- [12] W. M. Amutha and V. Rajini, "Cost benefit and technical analysis of rural electrification alternatives in southern India using HOMER," *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, pp. 236–246, 2016.