

OPTIMASI PERENCANAAN PLTS ON GRID SYSTEM DI GOR JATIDIRI SEMARANG MENGGUNAKAN SOFTWARE HOMER

Siti Zumrotun Khoiroh^{*)}, Bambang Winardi dan Karnoto

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

^{*)E-mail: zumyZumy10@gmail.com}

Abstrak

Kawasan Jatidiri Semarang memiliki arena olahraga yang terdiri dari Stadion jatidiri untuk olahraga outdoor dan Gor Jatidiri untuk olahraga indoor. GOR Jatidiri merupakan gedung yang digunakan oleh masyarakat sebagai sarana olahraga seperti futsal, volly, basket, dan olahraga lainnya. GOR Jatidiri memiliki kapasitas 5.187 penonton dan memiliki area parkir seluas 5960,34 M². Area parkir tersebut yang akan direncanakan untuk pemasangan PV pada perencanaan PLTS ini. Secara Geografis Lokasi GOR Jatidiri berada di wilayah Kelurahan Karangrejo, Kecamatan Gajahmungkur Semarang Jawa Tengah. Menurut National Aeronautics and Administration (NASA), Lokasi GOR Jatidiri memiliki rata-rata intensitas radiasi sebesar 5,539 Kwh/m²/hari. Hasil perhitungan perancangan PLTS didapat jumlah kapasitas panel surya sebesar 261 x 320 Wp, dan Inverter sebesar 100.000 Watt. HOMER berfungsi untuk membandingkan beberapa opsi konfigurasi yang berbeda dari sudut pandang teknis dan ekonomis. HOMER diharapkan dapat mengetahui konfigurasi sistem PLTS yang optimal. Hasil simulasi menggunakan HOMER menjelaskan bahwa konfigurasi PLTS yang optimal untuk GOR jatidiri Semarang adalah konfigurasi photovoltaic -grid dengan daya yang dihasilkan oleh panel surya sebesar 115,009 kWh/tahun. Hasil energi yang berlebih dari PLTS akan dijual ke PLN untuk kemudian menjadikan keuntungan sistem dari sisi teknis dan ekonomi.

Kata kunci: GOR Jatidiri, PLTS, On grid,HOMER

Abstract

Jatidiri's area at Semarang has a sport center arena such as outdoor and indoor sports stadion. Jatidiri sport center area is building used by comunity such as futsal,vollyball, basketball, and others. Sport center jatidiri has a capacity of 5.187 spectators and parking area of 59060,34 m2. Parking area will be planned PLTS applied pv installation. Geographically, Location of jatidiri sport center area is located in Karangrejo Urban Village, Gajahmungkur District, Semarang, Central Java. According to the National Aeronautics and Administration (NASA),the Jati Giri Location has an average radiation intensity of 5.539 Kwh / m2 / day. Result of solar system design calculation it was obtained the number of solar panel capacity is 261 x 320 Wp, and 100.000 Watt of inverter. HOMER use to compare several options configuration that is different from technical and economical perspective. HOMER expected to know optimal configuration of the system. Results of the simulation using HOMER explained that optimal configuration for GOR Jatidiri Semarang is the configuration of the photovoltaic -grid with the power generated by the solar panels of 116.395 kWh/year. The output energy from the solar power generator will be sold to PLN and turn the system into a technical and economic advantage.

Keywords: GOR Jatidiri, PLTS, On grid,HOMER

1. Pendahuluan

Energi merupakan kebutuhan mendasar dalam perkembangan ekonomi dan sosial. Kebutuhan energi nasional hingga tahun 2050 terus meningkat sesuai dengan pertumbuhan ekonomi, penduduk, harga energi, dan kebijakan pemerintah. Dengan laju pertumbuhan Produk Domestik Bruto (PDB) rata-rata sebesar 6,04% per tahun dan pertumbuhan penduduk sebesar 0,71% per tahun selama tahun 2016-2050 mengakibatkan laju pertumbuhan kebutuhan energi final sebesar 5,3% per tahun.[1] Indonesia banyak menggunakan sumber energi fosil

sebagai sumber energi utama. Ketersediaan energi fosil di Indonesia maupun dunia cepat atau lambat akan habis karena memerlukan waktu yang lama untuk memperbarui ketersediaannya, untuk mengatasi ketersediaan sumber energi di masa mendatang harus ada alternatif pengganti energi fosil.

Untuk mengatasi ketersediaan energi pemerintah berusaha untuk mendorong pemanfaatan sumber energi baru dan terbarukan sebagai sumber energi utama selain sumber energi fosil. Pada tahun 2050 diperkirakan sumber energi baru dan terbarukan (EBT) diharapkan menjadi sumber

energi utama dengan porsi 31 % dari total konsumsi energi nasional (Dewan Energi Nasional, 2015).

Untuk itu inovasi tentang energi alternatif, terutama dari sumber daya yang tak terbatas, sangatlah diperlukan seiring perkembangan teknologi, untuk memenuhi kebutuhan energi masyarakat di masa yang akan datang. Salah satu pemanfaatan sumber energi terbarukan yang cukup potensial di Indonesia adalah energi sinar matahari.[2]

Indonesia sebagai negara tropis mempunyai potensi energi surya yang tinggi dengan radiasi harian rata-rata (insolasi) sebesar 4,80 kWh/m²/hari. [3] Potensi ini dapat dimanfaatkan sebagai sumber energi alternatif yang murah dan tersedia sepanjang tahun. Untuk itu diperlukan pengembangan teknologi yang mampu menyuplai kebutuhan energi dengan menggunakan sumber energi terbarukan yang berupa PLTS (pembangkit listrik tenaga surya). Liem Ek Bien, Ishak Kasim, dan Wahyu Wibowo pada tahun 2013 telah melakukan penelitian tentang Perancangan Sistem Hibrid Pembangkit Listrik Tenaga Surya dengan Jala-jala Listrik PLN Untuk Rumah Perkotaan. Sistem hibrid yang dirancang mempunyai prinsip kerja satu arah yaitu pada saat PLTS bekerja (*on*) maka PLN tidak bekerja (*off*) dan begitu pula sebaliknya. Sistem PLTS dirancang untuk memenuhi kebutuhan listrik rumah tangga sekitar 30% dari beban keseluruhan, selebihnya sekitar 70% dipenuhi dari PLN.[4]

Selain itu Johar Pradityo, juga melakukan penelitian pada tahun 2015 yang berkaitan dengan pembangkit listrik sumber energi alternatif, yaitu tentang Evaluasi dan Optimasi Sistem Offgrid pembangkit listrik tenaga hybrid (PLTH) Bayu Baru, Bantul, D.I Yogyakarta . Dalam penelitiannya memanfaatkan potensi PLTH Bayu Baru dengan menggunakan panel surya dan turbin angin dengan kapasitas 90 kW dengan potensi energi matahari dan kecepatan angin yang ada, melalui *software* Homer PLTH Bayu Baru dapat menghasilkan energi listrik maksimal sebesar 100.395 kWh/ tahun. Keseluruhan sistem PLTH Bayu Baru dengan lama proyek 25 tahun menghasilkan NPC sebesar \$ 583.569, dan COE sebesar \$ 1,198/ kWh. Penggabungan sistem PLTH Bayu Baru 4 Grup menjadi satu sistem akan lebih efektif, karena kontinuitas penyaluran energi listrik ke beban akan lebih terjaga dan lebih handal. Saran pengembangan dari penelitian ini dapat berupa perencanaan pembangkit listrik tenaga hybrid baru untuk keperluan masyarakat sekitarnya.[5]

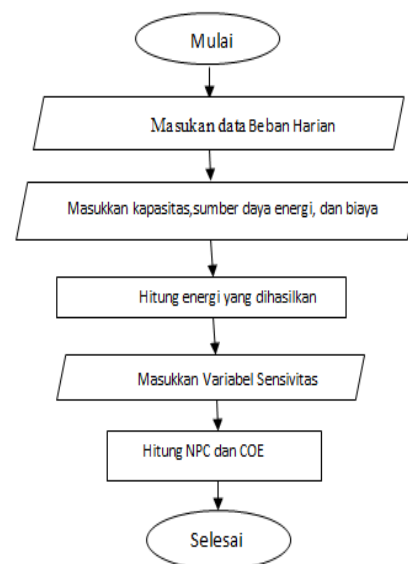


Gambar 1. GOR Jatidiri Semarang

2. Metode

2.1. Perancangan Simulasi PLTS di GOR Jatidiri Semarang

Diagram alir perancangan sistem pembangkit listrik tenaga surya di GOR Jatidiri menggunakan perangkat lunak HOMER sebagai berikut:



Gambar 2. Diagram alir pemodelan system

2.2. Data Sistem

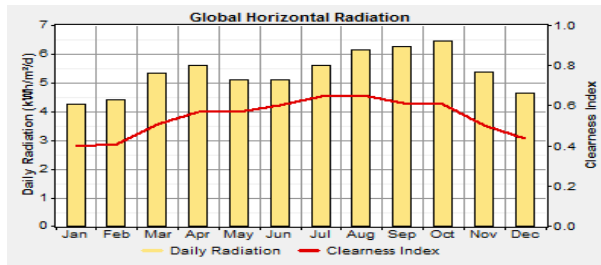
Data sistem dalam perancangan ini berupa data intensitas radiasi matahari, data temperatur dan data beban. Pada tahap pengerjaan Penelitian ini, dilakukan pengambilan data melalui website (National Aeronautics and Space Administration) guna mengetahui beragam parameter meteorologi dan klimatologi di wilayah perencanaan yakni di wilayah Kota Semarang tahun 2018. Sedangkan data beban didapatkan dari beban harian GOR Jatidiri Semarang.

2.2.1. Data Intensitas Radiasi Matahari GOR Jatidiri Semarang

Tabel 1. Data Intensitas Radiasi Matahari

BULAN	Intensitas Radiasi Matahari (Kwh/m ² /hari)
Januari	4.250
Februari	4.390
Maret	5.340
April	5.590
Mei	5.120
Juni	5.120
Juli	5.600
Agustus	6.130
September	6.250
Oktober	6.440
November	5.370
Desember	4.640
Rata-Rata	5.539

Data tersebut kemudian dimasukkan dalam HOMER sebagai masukan data iradiasi matahari dan diolah oleh HOMER dan diubah menjadi dalam satuan kWh/m²/hari sesuai dengan lokasi. Semakin besar nilai intensitas radiasi matahari, maka semakin besar pula tingkat efisiensi daya keluaran yang dapat dihasilkan oleh PLTS tersebut. Berdasarkan data tersebut, diketahui bahwa pada tahun 2018 data intensitas radiasi matahari tertinggi di Kota Semarang, Jawa Tengah adalah pada bulan Oktober dengan intensitas radiasi sebesar 6.440 Kwh/m²/hari.



Gambar 3. Data iradiasi matahari pada HOMER

2.2.2. Data Temperatur di GOR Jatidiri Semarang

Tabel 2. Data temperatur rata-rata

BULAN	Temperatur Rata-rata (°C)
Januari	27.2
Februari	26.7
Maret	27.5
April	28.9
Mei	29.2
Juni	27.9
Juli	27.5
Agustus	27.6
September	28.6
Oktober	29.2
November	28.7
Desember	28.0
Rata-Rata	28.1

Berdasarkan data pada Tabel 2. diketahui bahwa pada tahun 2018 data temperatur wilayah tertinggi di Kota Semarang, Jawa Tengah adalah pada bulan Oktober dengan nilai 29,2 °C.

2.2.3. Data Beban di GOR Jatidiri Semarang

Pada perancangan ini menggunakan data beban weekday dan weekend di GOR Jatidiri Semarang dari pukul 00.00 WIB-23.00 WIB.

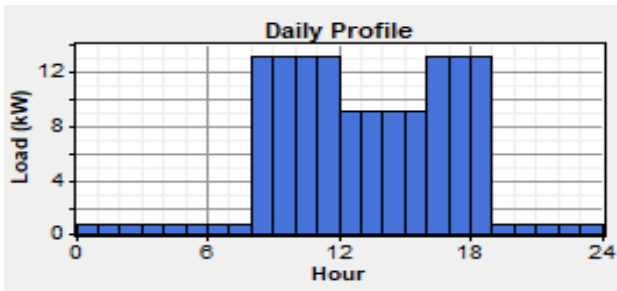
Tabel 3. Profil beban weekday

Jam	Beban (kW)
00.00-01.00	0.758
01.00-02.00	0.758
02.00-03.00	0.758
03.00-04.00	0.758
04.00-05.00	0.758
05.00-06.00	0.758
06.00-07.00	0.758
07.00-08.00	0.758
08.00-09.00	13.065
09.00-10.00	13.065
10.00-11.00	13.065
11.00-12.00	13.065
12.00-13.00	9.065
13.00-14.00	9.065
14.00-15.00	9.065
15.00-16.00	9.065
16.00-17.00	13.065
17.00-18.00	13.065
18.00-19.00	13.065
19.00-20.00	0.758
20.00-21.00	0.758
21.00-22.00	0.758
22.00-23.00	0.758
23.00-00.00	0.758

Tabel 4. Profil beban weekends

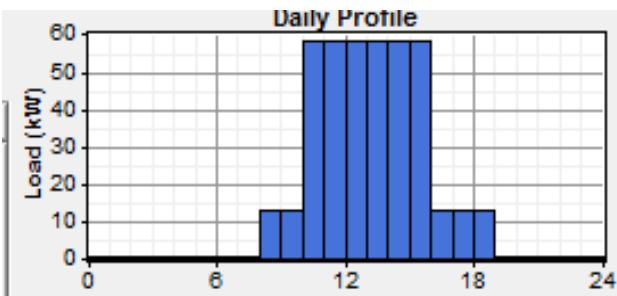
Jam	Beban (kW)
00.00-01.00	0.758
01.00-02.00	0.758
02.00-03.00	0.758
03.00-04.00	0.758
04.00-05.00	0.758
05.00-06.00	0.758
06.00-07.00	0.758
07.00-08.00	0.758
08.00-09.00	13.065
09.00-10.00	13.065
10.00-11.00	13.065
11.00-12.00	58.017
12.00-13.00	58.017
13.00-14.00	58.017
14.00-15.00	58.017
15.00-16.00	58.017
16.00-17.00	13.065
17.00-18.00	13.065
18.00-19.00	13.065
19.00-20.00	0.758
20.00-21.00	0.758
21.00-22.00	0.758
22.00-23.00	0.758
23.00-00.00	0.758

Data profil beban pada Tabel 3. dimasukkan ke HOMER yang digambarkan pada Gambar 4. berikut ini :



Gambar 4. Profil Beban Harian pada HOMER

Dapat dilihat pada Gambar 4. bahwa beban harian GOR Jatidiri yang paling tinggi adalah pada saat pukul 9.00 WIB-18.00 WIB. Saat jam tersebut beban dapat memaksimalkan energi listrik dari PLTS sehingga lebih hemat.



Gambar 5. Beban weekend pada HOMER

Gambar 5. menunjukkan bahwa konsumsi energi listrik paling tinggi adalah saat pukul 11.00-16.00 WIB karena pada saat jam tersebut GOR jatidiri digunakan untuk perlombaan olahraga, sehingga sistem dapat memaksimalkan PLTS sebagai sumber energi listrik di GOR jatidiri.

2.3. Komponen Utama Sistem PLTS GOR Jatidiri

Komponen yang digunakan dalam perancangan sistem PLTS ini adalah panel surya, inverter, generator, dan grid.

2.3.1 Panel Surya

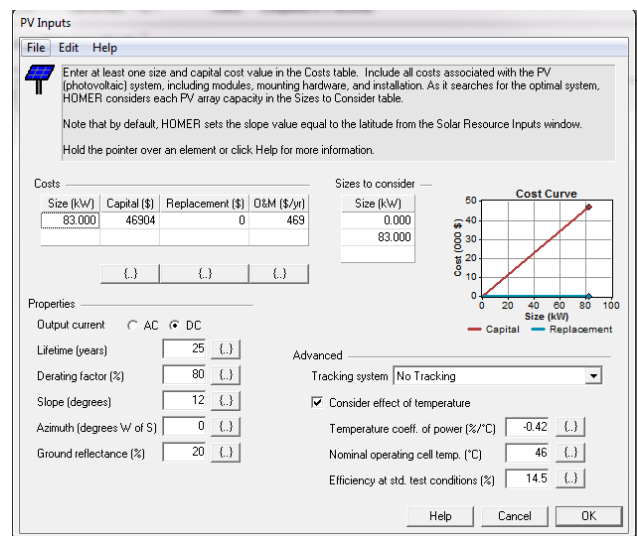
Jenis panel surya dalam perencanaan Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) di GOR jatidiri Semarang ini menggunakan panel surya dengan merk Yingli Solar Tipe YL320P-35b yang mempunyai rentang daya hingga 320 Wp. Dengan tipe sel Polycrystalline silicon.

Berikut spesifikasi dari panel surya tipe YL320P-35b:

Tabel 5. Spesifikasi panel surya

Tipe	Panel surya YL320P-35b
Maximum power	320 watt
Lifetime	25 tahun
derating factor	80%
Tracking system	No
Slope (degrees)	10°

Data-data pada spesifikasi tersebut lalu dimasukkan ke software HOMER menjadi masukan untuk komponen panel surya.



Gambar 6. Parameter masukan untuk panel surya pada HOMER

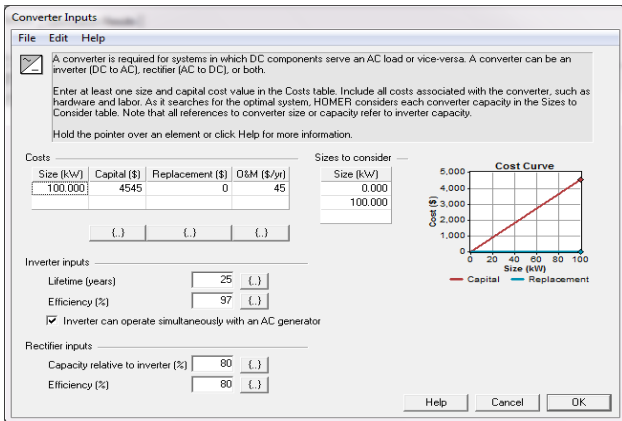
2.3.2 Inverter

Inverter yang digunakan adalah jenis Grid Tie Inverter yang didesain untuk sistem PLTS OnGrid. Tipe inverter yang digunakan yaitu GTIB-100-G1.2 dari Princeton Power System . Berikut spesifikasi inverter tipe GTIB-100-G1.2 :

Tabel 6. Spesifikasi inverter

Tipe	GTIB-100-G1.2
Rating Daya	100 kW
Efisiensi	97%
Lifetime	25 tahun

Data-data tersebut kemudian dimasukkan ke dalam software HOMER sebagai masukan pada komponen inverter.



Gambar 7. Parameter Masukan komponen inverter pada HOMER

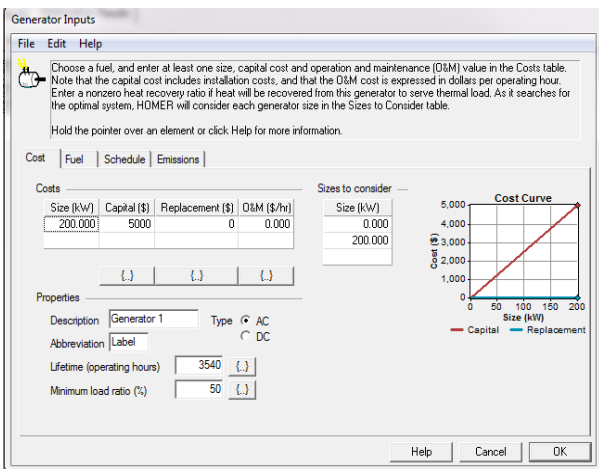
2.2.4 Generator Diesel

Generator Diesel yang digunakan yaitu tipe GEH 275-2 dengan Kapasitas 200 kW. Generator tersebut digunakan sebagai cadangan apabila PLTS dan PLN sudah tidak mampu menyuplai energi listrik di GOR Jatidiri Semarang. Berikut adalah generator tipe GEH 275-2:

Tabel 7. Spesifikasi generator diesel

Tipe	GEH 275-2
Kapasitas	200 kW
Engine	Diesel
Jumlah	1 unit
Lifetime	3540 hours
Bahan bakar	Solar diesel
Fuel consumption	12.2 L/hours (75% Load) 15.6 L/hours (100% Load)

Data-data tersebut kemudian dimasukkan ke dalam software HOMER sebagai masukan pada komponen generator diesel.



Gambar 8. Parameter masukan generator diesel pada HOMER

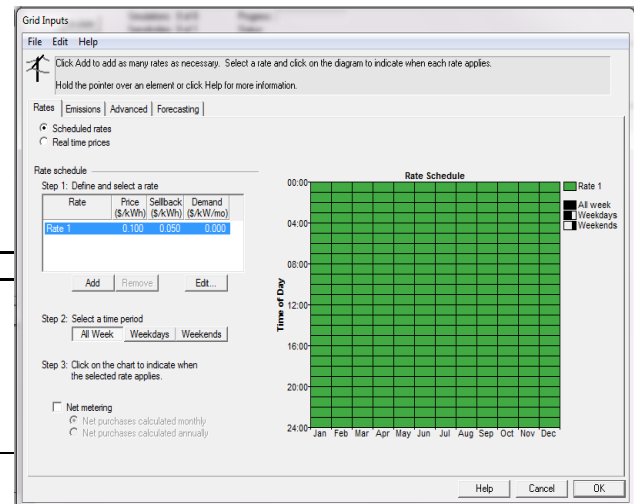
2.2.5 Grid

Perancangan pembangkit listrik hibrida ini dibuat dengan sistem *on-grid* yang berarti bahwa sistem ini terkoneksi dengan jaringan listrik PLN. Parameter yang dibutuhkan HOMER pada komponen *grid* adalah harga jual listrik dan harga beli listrik. Berdasarkan Peraturan Menteri ESDM No. 49 tahun 2019[6], berikut adalah harga jual listrik yang menjadi masukan pada komponen *grid* pada HOMER yang dijelaskan oleh Tabel 8.

Tabel 8. Harga jual listrik dan harga beli listrik

Harga jual listrik (Rupiah/kWh)	Harga beli listrik (Rupiah/kWh)
953.732	1467

Data tersebut kemudian dimasukkan pada HOMER sebagai masukan pada komponen *grid*.

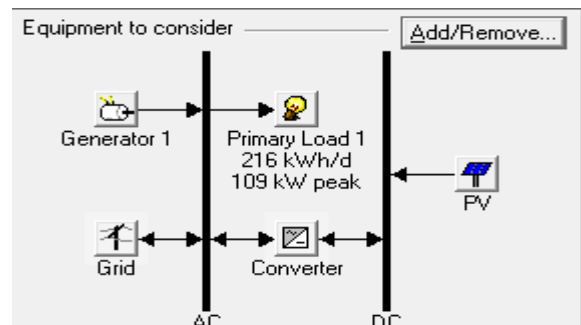


Gambar 9. Parameter masukan komponen *grid*

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1. Desain Skematik PLTS *On Grid*

Untuk membuat simulasi pada HOMER, maka harus memasukan beberapa parameter untuk perancangan PLTS. Berikut ini merupakan tampilan skematik PLTS *on grid* dalam software HOMER.



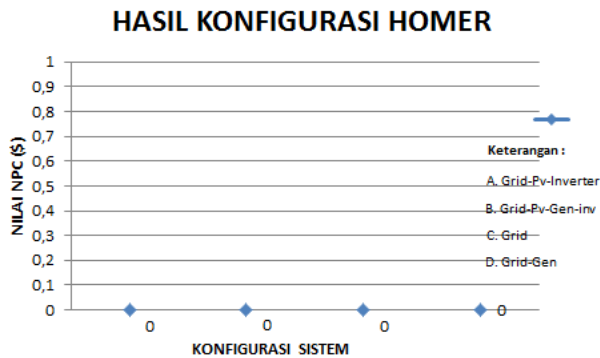
Gambar 10. Desain skematik PLTS

Skema perancangan PLTS pada Gambar 10. terdapat beberapa parameter yang harus dimasukkan yaitu generator, beban harian, *grid*, PV dan inverter. Hasil konfigurasi sistem yang optimal ditentukan oleh besarnya NPC (*Net Present Cost*) terkecil, karena NPC adalah biaya keseluruhan sistem selama jangka waktu tertentu.

3.2. Hasil Simulasi

3.2.1. Optimasi pada HOMER

Hasil optimasi diperoleh ketika proses simulasi pada *software* HOMER telah selesai dijalankan. Hasil optimasi bertujuan untuk mengetahui tingkat variabel komponen utama pembangkit listrik tenaga surya (PLTS) *on grid* saat beroperasi.



Gambar 11. Grafik Hasil konfigurasi HOMER

Gambar 11. menunjukkan hasil dari konfigurasi sistem pada HOMER. Gambar pada grafik tersebut dapat dilihat bahwa konfigurasi paling optimal adalah konfigurasi sistem Grid-Pv-Inverter karena konfigurasi tersebut memiliki total NPC yang paling rendah yaitu sebesar \$133,408.

PV (kW)	Label (kW)	Conv. (kW)	Grid (kW)	Initial Capital	Operating Cost (\$/yr)	Total NPC	COE (\$/kWh)	Ren. Frac.	Diesel (L)	Label (hrs)
84	100	1000	\$ 129,512	225	\$ 132,385	0,131	0,80			
84	250	1000	\$ 134,512	225	\$ 137,385	0,136	0,80	0		
		1000	\$ 78,063	7,884	\$ 178,847	0,177	0,00			
		250	\$ 83,063	7,884	\$ 183,847	0,182	0,00		0	

Gambar 12. Hasil konfigurasi HOMER paling optimal

Pada Gambar 12. dapat diketahui bahwa konfigurasi yang paling optimal adalah konfigurasi yang memiliki NPC terendah yaitu \$132,385. Biaya *net* total masa kini (NPC) adalah keluaran ekonomi yang utama dalam sistem PLTS pada HOMER. Selain itu, HOMER akan menghitung data hasil keluaran simulasi dan optimasi NPC. Nilai NPC dari sistem PLTS dengan suku bunga 6% , nilai investasi sebesar \$129.512 dan memiliki nilai *operating cost* sebesar 225 \$/year serta nilai COE sebesar 0,131 \$/kWh. Nilai COE adalah *Cost of energy* dapat diartikan sebagai biaya

rata-rata per kWh dari produksi energi listrik yang terpakai oleh sistem. Pada simulasi HOMER, COE dihitung dengan cara membagi biaya produksi energi listrik tahunan dengan total energi listrik terpakai yang diproduksi.

Quantity	Value	Units	Quantity	Value	Units
Rated capacity	83.0	kW	Minimum output	0.0	kW
Mean output	13.1	kW	Maximum output	72.4	kW
Mean output	315	kWh/d	PV penetration	146	%
Capacity factor	15.8	%	Hours of operation	4,365	hr/yr
Total production	115,009	kWh/yr	Levelized cost	0.0360	\$/kWh

Gambar 13. Parameter keluaran panel surya pada HOMER

Pada Gambar 13. dapat dilihat bahwa panel surya dapat menghasilkan energi sebesar 115,009 kWh dalam 1 tahun dan rata-rata 315 kWh/hari. Kapasitas nominal panel surya bernilai 83,0 kW dengan maksimal output sebesar 72,4 kW, dan rata-rata keluaran dayanya bernilai 13,1 kW. *Capacity factor* adalah persentase rata-rata keluaran daya dengan kapasitas nominal, dan bernilai 15,8%.

Quantity	Inverter	Rectifier	Units	Quantity	Inverter	Rectifier	Units
Capacity	100	80.0	kW	Hours of operation	4,365	0	hrs/yr
Mean output	13	0.0	kW	Energy in	115,009	0	kWh/yr
Minimum output	0	0.0	kW	Energy out	111,559	0	kWh/yr
Maximum output	70	0.0	kW	Losses	3,450	0	kWh/yr
Capacity factor	12.7	0.0	%				

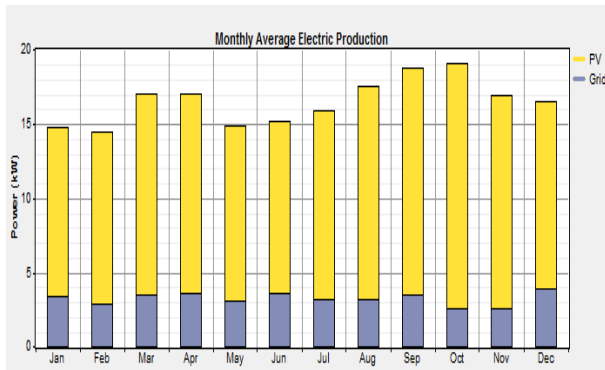
Gambar 14. Parameter keluaran inverter pada HOMER

Pada Gambar 14. dapat dilihat bahwa dengan kapasitas inverter 100 kW menghasilkan daya keluaran rata-rata sebesar 13 kW dan keluaran daya maksimum sebesar 70 kW. *Capacity factor* adalah persentase antara keluaran rata-rata dibagi dengan kapasitas total inverter, Pada inverter tersebut memiliki nilai faktor kapasitas sebesar 12.7% sedangkan jumlah daya yang masuk ke inverter tersebut sebesar 115,009 kWh/tahun, dan daya yang keluar dari inverter sebesar 111,559 kWh/tahun. Sehingga inverter memiliki rugi-rugi daya atau *losses* sebesar 3,450 kWh/tahun.

3.2.2. Perbandingan antara Sistem PLTS dengan Sistem Gri

A. Sistem PLTS

Pada saat PLTS dioperasikan, tidak semua beban dapat dipenuhi hanya dari daya yang dihasilkan panel surya karena di GOR jatidiri menggunakan beban listrik 24 jam sedangkan PLTS dapat beroperasi pada saat pagi-sore hari. Oleh karena itu, perlu dilakukan pembelian energi listrik dari jaringan PLN. Sehingga jumlah rata-rata produksi energi listrik dari panel surya dan *grid* per bulan selama 1 tahun dapat digambarkan dalam Gambar 15. berikut:



Gambar 15. Rata-Rata produksi energi listrik per bulan selama 1 tahun

Dari Gambar 15. dapat dilihat bahwa jika daya yang dihasilkan oleh panel surya semakin banyak, maka pembelian energi listrik dari *grid* semakin sedikit. Hal ini dikarenakan saat sistem PLTS menghasilkan energi listrik lebih banyak maka energi tersebut akan digunakan oleh seluruh beban yang ada di GOR Jatidiri dan saat energi listrik yang dihasilkan PLTS telah memenuhi beban di GOR Jatidiri maka energi listrik tersebut akan dijual ke PLN sehingga dapat menghemat biaya listrik .

Tabel 9. Produksi energi listrik

Komponen	Produksi Daya (KWh/tahun)	Presentase (%)
Panel Surya	115,009	80
Pembelian dari grid	28,535	20
Total	143,544	100

Dapat dilihat dari Tabel 9. bahwa produksi energi listrik dari panel surya sebesar 115,009 kWh/tahun dan produksi energi dari Grid sebesar 28,535 kWh/tahun, sehingga Total produksi listrik oleh semua sumber dalam sistem mencapai 143,544 kWh/tahun. Sementara kebutuhan beban dalam 1 tahun adalah 78,840 kWh/tahun. Karena produksi daya lebih besar daripada kebutuhan daya, maka kelebihan daya ini dapat dijual ke *grid*. Berikut adalah hasil penjualan dan pembelian daya listrik pada *grid*.

Consumption	kWh/yr	%	Quantity	kWh/yr	%
AC primary load	78,840	56	Excess electricity	0.000127	0.00
Grid sales	61,254	44	Unmet electric load	0.00	0.00
Total	140,094	100	Capacity shortage	0.00	0.00

Gambar 16. Data konsumsi daya listrik selama satu tahun

Dapat dilihat pada Gambar 16. bahwa jumlah energi yang digunakan untuk melayani beban primer AC pada sistem sebesar 78,840 kWh/tahun dengan efisiensi 56% sedangkan jumlah total energi listrik yang dijual ke jaringan PLN selama setahun sebesar 61,254 kWh dengan efisiensi 44%, jadi Jumlah beban listrik yang dilayani sepanjang tahun sebesar 140,094 kWh. Sedangkan untuk

excess electricity bernilai 0.0000127 kWh/tahun. Hal ini dikarenakan semua daya yang dihasilkan baik dari PLTS maupun jaringan PLN dapat digunakan oleh beban. *Unmet electric load* bernilai 0, yang artinya bahwa tidak ada beban yang tidak terpenuhi dalam satu tahun. *Capacity shortage* bernilai 0, yang berarti bahwa energi listrik yang dihasilkan cukup untuk memenuhi semua beban.

Kemudian untuk jumlah penjualan dan pembelian daya listrik ke PLN dapat disimpulkan pada hasil simulasi komponen *grid* pada Gambar 16.

Month	Energy Purchased	Energy Sold	Net Purchases	Peak Demand	Energy Charge	Demand Charge
	(kWh)	(kWh)	(kWh)	(kW)	(\$)	(\$)
Jan	2,501	4,555	-2,055	69	22	0
Feb	1,961	3,783	-1,822	76	7	0
Mar	2,588	5,045	-2,457	71	7	0
Apr	2,595	5,232	-2,637	76	-2	0
May	2,284	4,492	-2,208	61	4	0
Jun	2,582	3,935	-1,353	70	61	0
Jul	2,393	4,862	-2,468	56	-4	0
Aug	2,353	5,648	-3,294	91	-47	0
Sep	2,522	6,071	-3,549	67	-51	0
Oct	1,943	7,188	-5,246	47	-165	0
Nov	1,876	5,624	-3,748	70	-94	0
Dec	2,937	4,819	-1,881	84	53	0
Annual	28,535	61,254	-32,719	91	-209	0

Gambar 17. Penjualan dan Pembelian Energi Listrik pada Grid

Dari Gambar 17. dapat dilihat bahwa energi yang dibeli (*Energy Purchased*) dari PLN sebesar 28,535 kWh/tahun sedangkan energi yang dijual (*Energy Sold*) ke PLN sebesar 61,254 kWh/tahun, sehingga sistem memiliki energi sisa sebesar -32,719 kWh/tahun. *Net Purchased* bernilai positif apabila total pembelian daya melebihi total penjualan daya, dan bernilai negatif apabila total penjualan daya melebihi pembelian daya.

Penjualan dan pembelian energi listrik tiap bulan selama setahun memiliki nilai yang berbeda-beda. Hal ini dapat terjadi karena iradiasi matahari setiap bulan yang berbeda-beda sehingga memengaruhi daya listrik yang dihasilkan oleh panel surya. Sedangkan *Energy Charge* adalah harga yang harus dibayarkan setiap bulannya. Angka tersebut dapat diperoleh dengan cara *Energy Purchased* dikalikan dengan harga beli per kWh nya setelah itu dikurangi hasil dari *Energy Sold* dikalikan harga jual per kWh nya. Dapat dilihat di Gambar 17. pada kolom *Energy Charge* menunjukkan angka \$-209 yang berarti sistem mendapatkan keuntungan sebesar \$-209 dari penjualan daya listrik.

Kemudian untuk biaya investasi awal sistem konfigurasi PLTS dapat dilihat pada Gambar 18.

Component	Capital (\$)	Replacement (\$)	O&M (\$)	Fuel (\$)	Salvage (\$)	Total (\$)
PV	46,904	0	5,995	0	0	52,899
Grid	0	0	-2,674	0	0	-2,674
Converter	4,545	0	575	0	0	5,120
Other	78,063	0	0	0	0	78,063
System	129,512	0	3,896	0	0	133,408

Gambar 18. Keluaran Hasil Ekonomi pada HOMER

Dapat dilihat pada Gambar 18. bahwa pada konfigurasi tersebut memiliki modal awal bernilai \$129,512, O&M bernilai \$2,873 dan NPC bernilai \$133,385. Nilai NPC didapatkan dari persamaan berikut berikut :

$$C_{NPC} = C_{Capital} + C_{Replacement} + C_{O\&M} + C_{Salvage} \quad 3.1$$

$$C_{NPC} = 129,512 + 0 + 0 + 3,896 + 0 = 133,408$$

Selanjutnya didapatkan biaya tahunan pada sistem per tahun yang dapat dilihat pada Gambar 19.

Component	Capital (\$/yr)	Replacement (\$/yr)	O&M (\$/yr)	Fuel (\$/yr)	Salvage (\$/yr)	Total (\$/yr)
PV	3,669	0	469	0	0	4,138
Grid	0	0	-209	0	0	-209
Converter	396	0	45	0	0	401
Other	6,107	0	0	0	0	6,107
System	10,131	0	305	0	0	10,436

Gambar 19. Biaya tahunan pada sistem dalam 1 tahun

Dapat dilihat pada Gambar 19. biaya O&M bernilai \$305/tahun. Nilai ini didapatkan dari penjumlahan biaya O&M panel surya sebesar \$469/tahun, keuntungan penjualan daya listrik sebesar \$-209/tahun, dan biaya O&M inverter sebesar \$45/tahun.

B. Sistem Grid

Sistem *Grid* merupakan sistem yang memiliki daya sumber listrik hanya dari PLN. Sistem *grid* digunakan untuk mengetahui perbandingan biaya yang dikeluarkan saat menggunakan PLTS dan hanya menggunakan grid. Untuk mengetahui simulasi grid dapat dilihat pada Gambar 20.

	PV (kW)	Label (kW)	Conv. (kW)	Grid (kW)	Initial Capital	Operating Cost (\$/yr)	Total NPC	COE (\$/kWh)	Ren. Frac.	Diesel (L)	Label (hrs)
<input checked="" type="checkbox"/>	83	100	1000	\$ 129,512	305	\$ 133,408	0.132	0.80			
<input checked="" type="checkbox"/>	83	200	1000	\$ 134,512	305	\$ 138,408	0.137	0.80			0
<input checked="" type="checkbox"/>			1000	\$ 78,063	7,884	\$ 178,847	0.177	0.00			
<input checked="" type="checkbox"/>		200	1000	\$ 83,063	7,884	\$ 183,847	0.182	0.00			0

Gambar 20. Hasil Optimasi sistem grid

Gambar 20. dapat diketahui bahwa pada saat hanya menggunakan sistem grid, nilai NPC sebesar \$178,847, Nilai COE sebesar \$0.177, sedangkan nilai biaya operasi sebesar 7,884 \$/yr. Nilai tersebut lebih besar daripada menggunakan sistem PLTS.

Pada saat sistem hanya menggunakan *grid* sebagai sumber daya listrik, total pembelian listrik dari *grid* dapat diketahui pada Gambar 21.

Month	Energy Purchased	Energy Sold	Net Purchases	Peak Demand	Energy Charge	Demand Charge
	(kWh)	(kWh)	(kWh)	(kW)	(\$)	(\$)
Jan	6,097	0	6,097	79	610	0
Feb	5,638	0	5,638	95	564	0
Mar	7,206	0	7,206	89	721	0
Apr	6,656	0	6,656	89	666	0
May	6,234	0	6,234	86	623	0
Jun	6,640	0	6,640	89	664	0
Jul	6,607	0	6,607	79	661	0
Aug	6,946	0	6,946	109	695	0
Sep	7,017	0	7,017	84	702	0
Oct	6,495	0	6,495	94	650	0
Nov	6,175	0	6,175	78	617	0
Dec	7,130	0	7,130	98	713	0
Annual	78,840	0	78,840	109	7,884	0

Gambar 21. Total pembelian energi listrik saat menggunakan *grid*

Gambar 21. merupakan hasil simulasi dari HOMER, gambar tersebut menunjukkan angka Energi yang dibeli (*Energy Purchased*), Energi yang terjual (*Energy Sold*), *Net Purchases*, *Peak Demand*, *Energy Charge* dan *Demand Charge*. Total energi listrik yang dihasilkan oleh *grid* dan disuplai ke beban adalah sebesar 78,840 kWh/tahun dengan *Energy Charge* sebesar \$7,884/tahun sesuai dengan nilai biaya operasi. Dapat dilihat pada kolom *energy sold* bernilai 0. Hal ini dikarenakan tidak adanya energi listrik yang dapat dijual kembali ke *grid*, serta tidak adanya sumber energi lain selain *grid* yang menghasilkan energi listrik.

4. Kesimpulan

Berdasarkan hasil perancangan PLTS di GOR jatidiri Semarang, maka didapatkan hasil produksi energi listrik dari panel surya sebesar 115,009 kWh/tahun dan produksi energi dari *Grid* sebesar 28,535 kWh/tahun, sehingga Total produksi listrik oleh semua sumber dalam sistem mencapai 143,544 kWh/tahun. Sedangkan konfigurasi perancangan sistem PLTS on *grid* paling optimal adalah *Pv-Grid-Inverter* yang memiliki NPC terendah sebesar \$133,408. Perancangan sistem PLTS memiliki nilai COE sebesar 0,132 \$/kWh sedangkan pada sistem *grid* nilai COE sebesar 0.177 \$/kWh dengan suku bunga 6 % dan total energi listrik yang dijual ke *grid* sebesar 61,254 kWh/tahun dan sistem memiliki energi sisa sebesar -32,719 kWh/tahun sehingga sistem mendapatkan keuntungan sebesar \$209 dari hasil penjualan energi listrik.

Referensi

- [1]. Outlook energi 2018: Kementerian ESDM. (Diakses pada Tanggal 10 Mei 2019).
- [2]. Waris Tajuddin, M.Z., Optimasi Sistem Hibrid (PV-Grid Connected) pada Gedung Komersial.
- [3]. Bachtiar, Muhammad, "Prosedur Perancangan Sistem Pembangkit Listrik Tenaga Surya untuk Perumahan (*Solar Home System*)", SMARTek, vol.4, no.3, pp. 176-182, 2006.

- [4]. Bien, L. E., Perancangan Sistem Hibrid Pembangkit Listrik Tenaga Surya dengan Jala-jala Listrik PLN untuk Rumah Perkotaan, Universitas Trisakti, 2008. JETri, Volume 8, Nomor 1, Agustus 2008, Halaman 37-56, ISSN 1412-0372.
- [5]. Jurnal Johar pradiyo "Evaluasi dan Optimasi Sistem Off Grid Pembangkit Listrik Tenaga Hybrid (PLTH) Bayu Baru,Bantul, D.I, Yogyakarta".
- [6]. Kementrian ESDM. "Energi Baru, Terbarukan dan Konservasi Energi". JURNAL ENERGI Media Komunikasi Kementrian Energi dan Sumber Daya Mineral Edisi 2, 2016.