

PERENCANAAN PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA SURYA MENGUNAKAN SOFTWARE HOMER DI DEPARTEMEN TEKNIK INDUSTRI UNIVERSITAS DIPONEGORO

Victor Ragidup Tua Manullang^{*)}, Agung Nugroho dan Enda Wista Sinuraya

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

^{*)E-mail: victormanullang27@gmail.com}

Abstrak

Pembangkit listrik di Indonesia saat ini masih banyak yang menggunakan energi tak terbarukan. Sehingga diperlukan energi terbarukan yang dapat bekerja secara efisien. Departemen Teknik Industri Universitas Diponegoro terletak di Semarang, Jawa Tengah. Lokasi ini memiliki iradiasi yang cukup besar, hal ini dapat dimanfaatkan untuk membangun pembangkit listrik tenaga surya (PLTS). PLTS adalah sistem pembangkit yang memanfaatkan sinar matahari yang nantinya akan dikonversikan menjadi energi listrik menggunakan PV. HOMER adalah suatu model sistem pembangkit skala kecil untuk mempermudah dalam mengevaluasi desain dari jaringan tunggal (off-grid) maupun jaringan yang terkoneksi dengan sistem (grid-connected). HOMER memungkinkan pemodelan untuk membandingkan banyak opsi desain yang berbeda berdasarkan manfaat teknis dan ekonomi mereka. Dengan menggunakan HOMER diharapkan dapat mengetahui konfigurasi sistem pembangkit yang optimal juga dapat mengetahui besar potensi energi terbarukan di Teknik Industri. Hasilnya dengan menggunakan HOMER di dapat konfigurasi yang optimal yaitu photovoltaic (PV)-Grid dengan 22.244 kWh/tahun untuk daya yang dihasilkan oleh PV dan 284.061 kWh/tahun daya yang disuplai oleh grid untuk memenuhi permintaan beban sebesar 305.305 kWh/tahun, dengan investasi awal sebesar \$13.597 pada HOMER menggunakan bunga sebesar 6 %, didapat nilai NPC sebesar \$392.973, nilai COE sebesar \$0,101/kWh dan BEP terjadi pada tahun ke-15,58.

Kata kunci : energi terbarukan, PLTS, HOMER, grid, photovoltaic.

Abstract

In Indonesia, most of power generating stations are still using non renewable energy. So renewable energy is required that can works efficiently. Industrial Engineering Department of Diponegoro University located in Semarang, Cenral Java. This location have large amount of irridiation, this can be used to build Solar Power Generating Station (PLTS). PLTS is a power generating station system that use sunlight that will be converted into electrical energy using PV. HOMER is a small scale of power generating system model device to simplify off-grid evaluation as well as grid-connected. HOMER allows modeling to compare many different design option based on technical and economical benefit. With using HOMER expected to know optimal power generating system and also potential value of renewable energy in Industrial Engineering. The result with using HOMER obtained optimal configuration of PV-Grid with 22.24 kWh/year power that came from PV and 284.061 kWh/year power that supplied from grid for fulfill load demand of 305.305 kWh/year, with initial capital of \$13.597 in HOMER using 6% annual interest, obtained NPC value of \$392.293, COE value of \$0,101/kWh and BEP will occur at 15,58th year.

Keywords: renewable energy, PLTS, HOMER, grid, photovoltaic.

1. Pendahuluan

Pembangkit listrik di Indonesia saat ini masih banyak yang menggunakan energi tak terbarukan seperti batubara, minyak bumi, dan gas sebagai sumber energi listrik. Berdasarkan data statistik ketenagalistrikan tahun 2018, kapasitas pembangkit terpasang di Indonesia masih di dominasi dengan pembangkit listrik yang menggunakan energi tak terbarukan seperti Pembangkit Listrik Tenaga

Uap (35,74%), Pembangkit Listrik Tenaga Diesel (10,56%), dan Pembangkit Listrik Tenaga Gas dan Uap (23,93%). Penggunaan energi tak terbarukan secara terus menerus akan menyebabkan pasokan energi tak terbarukan tersebut semakin menipis, selain itu penggunaan energi tak terbarukan memiliki dampak pencemaran lingkungan.

Oleh sebab itu, perlu adanya suatu inovasi dalam hal pemanfaatan energi. Salah satu solusinya adalah dengan

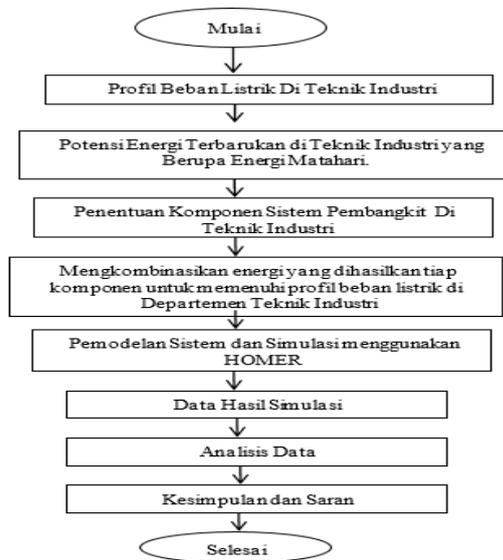
beralih pada penggunaan energi baru terbarukan seperti energi matahari. Energi matahari dapat dikonversikan menjadi energi listrik dengan alat yang disebut panel surya. Penggunaan energi matahari sebagai pembangkit listrik di Indonesia masih sekitar 0,03% di Indonesia (Data Statistik Ketenagalistrikan tahun 2018). Penggunaan energi matahari sebagai energi listrik memiliki beberapa keunggulan seperti ramah lingkungan dan pasokan energinya tak terbatas.

Penelitian Tugas Akhir membahas tentang perancangan sistem pembangkit listrik tenaga surya pada gedung Teknik Industri Universitas Diponegoro. Penelitian dilakukan dengan tujuan untuk mengetahui optimasi aliran daya antara sumber PLN dan sistem PLTS yang dirancang, selain itu dilakukan analisis ekonomi teknik pada perancangan tersebut. Perancangan dan analisis ekonomi teknik PLTS akan dilakukan untuk mengurangi beban PLN pada gedung Teknik Industri Universitas Diponegoro. PLTS yang digunakan bersistem *on grid*. Perancangan sistem dilakukan dengan menggunakan *software* Homer.

2. Metode

2.1. Metode Perancangan Simulasi

Diagram alir dari Tugas Akhir yang berjudul “Perencanaan Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) dengan Menggunakan Software Homer di Departemen Teknik Industri Universitas Diponegoro” dapat dilihat pada Gambar 1. berikut.



Gambar 1. Diagram alir metode perancangan simulasi

2.2. Data Sistem

2.2.1. Data Beban

Tugas akhir ini menggunakan data beban dari Departemen Teknik Industri Universitas Diponegoro. Sebagian besar

beban di Teknik Industri berasal pemakaian lampu, *air conditioner* (AC), komputer dan juga peralatan lainnya. Selama ini Teknik Industri mendapatkan aliran listrik berasal dari PLN dan di bantu dengan Generator Diesel sebagai cadangan. Pembangkit listrik tenaga surya ini diharapkan dapat membantu mengaliri listrik di Teknik Industri sehingga dapat menekan biaya pengeluaran untuk pembelian listrik dari PLN. Informasi umum beban listrik di Teknik Industri dapat dilihat pada Tabel 1. berikut ini.

Table 1. Alat-alat elektronik di Teknik Industri

	Alat Elektronik	Watt/Unit	Jumlah	Total Daya (W)
Lantai 1	Lampu TKO 2 x 18 Watt	36	41	1476
	Industrial Light TB E27 80 Watt HPLN	80	12	960
	PLC 11 Watt + Fitting Barat + TL Ring 32 W (SBC ACR 32 W)	11	10	110
	Stop Kontak 1 Phase 200 Watt	32	2	64
	Stop Kontak 3 Phase 2200 Watt	200	23	4600
	AC 2,5 PK	6600	5	33000
	AC 2 PK	2000	3	6000
	AC 2 PK	1600	4	6400
Lantai 2	Lampu RMO 2 x 36 Watt	72	34	2448
	PLC 11 Watt + Fitting Barat + TL Ring 32 W (SBC ACR 32 W)	11	11	121
	Stop Kontak 1 Phase 200 Watt	32	2	64
	AC 2,5 PK	200	16	3200
	AC 2 PK	2000	8	16000
Lantai 3	Lampu TKO 2 x 36 Watt	72	50	3600
	Lampu TKO 2 x 18 Watt	36	10	360
	PLC 11 Watt + Fitting Barat + TL Ring 32 W (SBC ACR 32 W)	11	11	121
	Stop Kontak 1 Phase 200 Watt	32	2	64
	AC 2,5 PK	200	15	3000
Lantai 4	AC 1 PK	2000	7	14000
	Lampu RMO 2 x 18 Watt	800	3	2400
	Lampu TKO 2 x 18 Watt	36	36	1296
	Lampu TKO 2 x 18 Watt	36	20	720
Lantai 4	PLC 11 Watt + Fitting Barat + TL Ring 32 W (SBC ACR 32 W)	11	10	110
	Stop Kontak 1 Phase 200 Watt	32	2	64
	AC 2,5 PK	200	19	3800
	AC 1 PK	2000	6	12000
	AC 1 PK	800	6	4800
TOTAL DAYA KESELURUHAN				125578

2.2.2. Data Sumber Energi Matahari

Teknik Industri Universitas Diponegoro memiliki potensi energi terbarukan dari sumber energi matahari. Radiasi sinar matahari dapat digunakan untuk merancang kapasitas terbesar yang dapat ditangkap oleh panel surya. Informasi mengenai tingkat radiasi sinar matahari sangat penting untuk dapat memperkirakan energi yang dapat dihasilkan oleh sistem per hari. Data dari website NASA digunakan sebagai sumber informasi radiasi matahari di Teknik Industri . Data yang diambil berasal dari rekam data bulan September 2018 hingga bulan Agustus 2019.

Pada perancangan simulasi ini data yang diperlukan adalah temperatur, radiasi sinar matahari dan *clearness index*. Data radiasi sinar matahari rata-rata di Teknik Industri selama setahun ditunjukkan pada Tabel 2.

Tabel 2. Radiasi Matahari rata-rata per bulan di Teknik Industri

Bulan	Radiasi (kWh/m ² /Hari)
Januari	9,606
Februari	9,774
Maret	10,203
April	10,252
Mei	10,328
Juni	10,269
Juli	10,264
Agustus	10,282
September	9,739
Oktober	9,325
November	9,180
Desember	9,270
Total	7,9

Tabel 3. Data temperatur rata-rata di kota Semarang, Jawa Tengah tahun 2019

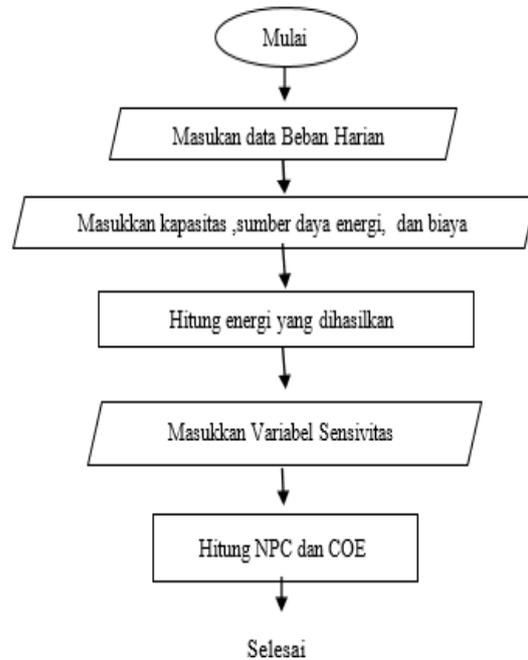
Bulan	Temperatur Rata-rata (°C)
Januari	33.1
Februari	33.4
Maret	30.1
April	28.2
Mei	27.9
Juni	27.7
Juli	27.8
Agustus	28.6
September	28.7
Oktober	28.6
November	29.9
Desember	31.7
Rata-Rata	29,6

2.3. Perancangan Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS)

Pembangkit listrik tenaga surya merupakan suatu sistem pembangkit listrik dimana energi matahari diubah menjadi energi listrik dengan memanfaatkan teknologi photovoltaic. Pada sistem pembangkit tenaga surya ini menggunakan satu sumber energi terbarukan yaitu sumber energi matahari dengan melalui panel surya. Pembuatan model sistem pembangkit surya ini menggunakan software HOMER.

2.3.1. Diagram Alir Pemodelan Sistem

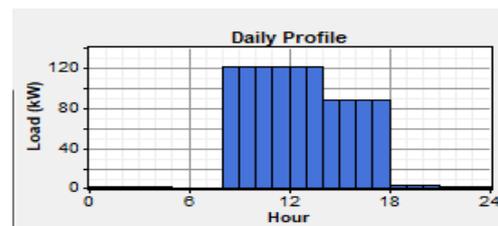
Simulasi pemodelan sistem pembangkit listrik tenaga surya di Teknik Industri ini menggunakan perangkat lunak HOMER. Berikut ini diagram alir dan algoritma sistem pembangkit listrik tenaga surya di Teknik Industri.



Gambar 2. Diagram alir pemodelan sistem PLTS di Teknik Industri

2.3.2. Kebutuhan Beban Harian

Perancangan sistem pembangkit listrik surya ini untuk memenuhi kebutuhan listrik di Teknik Industri yang rata-rata berkisar 834 kWh per hari. Profil beban yang digunakan mengacu pada kurva beban listrik di Teknik Industri Universitas Diponegoro Semarang.



Gambar 3. Profil beban harian Teknik Industri

Data berikut merupakan validasi data yang digunakan sebagai acuan :

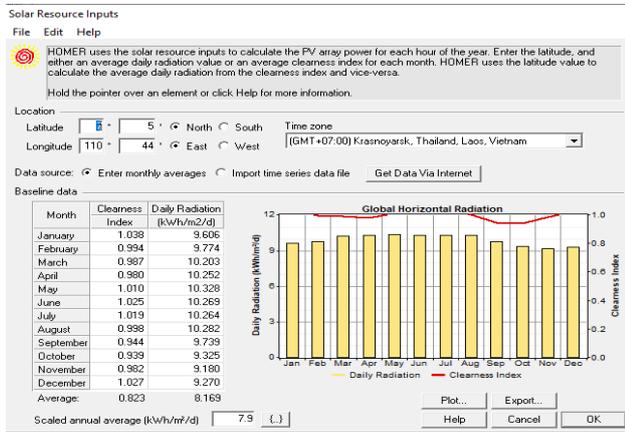
- a. Konsumsi Energi Harian : 834 kWh/hari
- b. Beban rata-rata : $\frac{\text{Energi harian}}{\text{Lama Pembebanan}} = \frac{834 \text{ kWh}}{24 \text{ jam}} = 34,75 \text{ kWh/jam}$
- c. Beban puncak : 121 kW

2.3.3. Parameter dan Komponen Utama Sistem PLTS

Model sistem tenaga hibrida yang akan disimulasi dan dioptimasi menggunakan HOMER terdiri dari panel surya (photovoltaic), inverter dan Grid. Setelah dilakukan

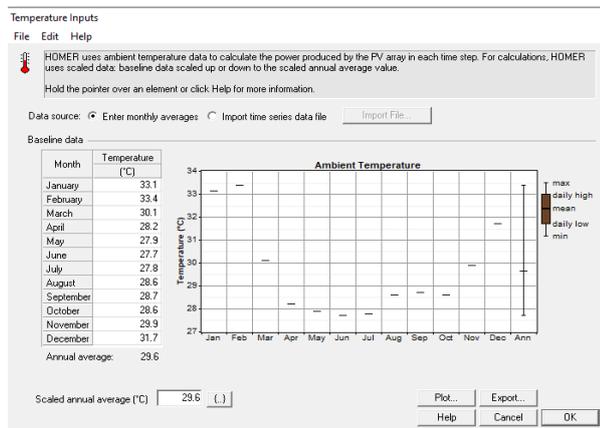
pemodelan maka langkah selanjutnya adalah memasukan parameter-parameter dari komponen PLTS yang dibutuhkan anara lain:

- Iradiasi Matahari



Gambar 4. Data iradiasi matahari

- Temperatur



Gambar 5. Data temperatur Teknik Industri Universitas Diponegoro

A. Panel Surya

Tabel 4. Spesifikasi panel surya Yingli Solar YL280P-35b

Parameter	Nilai
Daya Maksimum (Pmax)	280 Wp
Tegangan Rangkaian Terbuka (Voc)	45 V
Arus Hubung Singkat (Isc)	8,35 A
Tegangan Maksimum (Vmp)	35,5 V
Arus Maksimum (Imp)	7,89 A
Temperatur Kerja	46°C
Efisiensi (η_{pv})	14,36 %

Jenis panel surya yang direncanakan dalam perencanaan Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) di Departemen Teknik Industri Universitas Diponegoro ini menggunakan panel surya dengan merk Yingli Solar Tipe Yingli

YL280P-35b. Tabel 4. berikut ini menunjukkan parameter masukan panel surya.

B. Konverter

Parameter yang menunjukkan parameter masukan inverter seperti pada tabel 5.

Tabel 5. Parameter masukan inverter

Tipe	SNV-GT-1002-DM
Daya Keluaran	10 kW
Arus keluaran maksimum	17A
Tegangan keluaran	400 VAC,20%
Efisiensi	98%

C. Grid

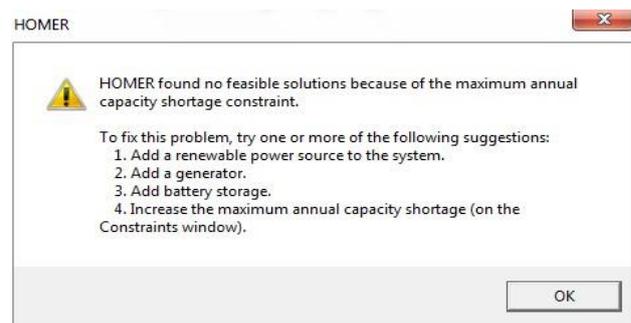
Pada tabel 6. menunjukkan parameter yang dimasukkan ke dalam HOMER.

Tabel 6. Parameter Masukkan Grid

Harga Beli (\$)	Harga Jual (\$)
0,104	0,00

2.3.4. Persyaratan Operasi

Perangkat lunak HOMER dalam penentuan hasil simulasi mempertimbangkan kelayakan kapasitas maksimum tahunan pada sistem pembangkit listrik tenaga surya (PLTS) yang terdiri dari beban harian, dan komponen sistem, sebagai alat untuk menyimpan energi seperti yang ditunjukkan pada Gambar 6.



Gambar 6. Persyaratan operasi pada Homer

2.3.5. Biaya Komponen Sistem

Tabel 7. Biaya komponen sistem

Komponen	Modal	Biaya pengganti	O&M
Photovoltaic	\$10612/10kW	\$0/kW	\$ 106/tahun
Konverter	\$ 2985/10kW	\$ 2985/10kW	\$ 29/tahun

Biaya komponen sistem Pembangkit Listrik Tenaga Surya ditunjukkan pada Tabel 7. Setiap Komponen (panel surya

dan konverter) terdiri dari biaya modal ,biaya penggantian dan biaya operasional dan pemeliharaan (O&M) pada masa investasi proyek selama 25 tahun.

3. Hasil dan Pembahasan

3.1. Hasil Optimasi HOMER Saat Bersistem PV-Grid

Proses optimasi dilakukan setelah proses simulasi dilakukan. Proses simulasi memodelkan dan merancang konfigurasi secara khusus, maka proses optimasi dilakukan untuk menentukan kemungkinan terbaik dalam konfigurasi sistem. Tabel 8. menunjukkan variabel nilai untuk masing-masing komponen untuk optimasi.

Tabel 8. Variabel sensitivitas komponen sistem

No	PLTS (kW)	Grid (Kw)	Konverter (Kw)
1	0	0	0
2	1	1000	10
3	2		
4	3		
5	4		
6	5		
7	6		
8	7		
9	8		
10	9		
11	10		

HOMER melakukan simulasi dan optimasi konfigurasi pembangkit berdasarkan variabel nilai yang dimasukkan pada Tabel 8, kemudian mengurutkan hasil konfigurasi berdasarkan nilai NPC (Net Present Cost) yang terendah terhadap konfigurasi sistem. Hasil konfigurasi sistem yang optimal ditentukan oleh besarnya NPC (Net Present Cost) terkecil, karena NPC adalah biaya keseluruhan sistem selama jangka waktu tertentu. Hasil konfigurasi sistem pembangkit yang optimum ditunjukkan pada Gambar 7. berikut

	PV (kW)	Conv. (kW)	Grid (kW)	Initial Capital	Operating Cost (\$/yr)	Total NPC	COE (\$/kWh)	Ren. Frac.
	10	10	1000	\$ 13,597	29,677	\$ 392,973	0.101	0.07
			1000	\$ 0	31,659	\$ 404,708	0.104	0.00

Gambar 7. Hasil optimasi Homer

Tabel 9. Data Hasil simulasi pada Homer

Parameter	PV-Grid	Grid
Total NPC (\$)	\$ 392.973	\$ 404.708
Initial Capital Cost (\$)	\$ 13.597	\$ 0
Operating Cost (\$/tahun)	\$ 29.677	\$ 31.659
COE (\$/kWh)	\$ 0.101	\$ 0.104

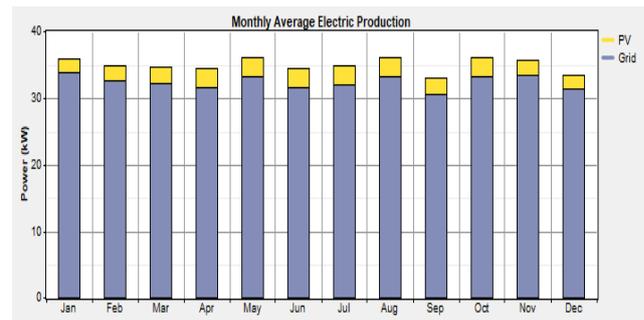
Dari Gambar 7. terlihat hasil optimasi dari Homer dimana nilai initial capital atau modal awal yang harus dikeluarkan sebesar \$ 13.597 atau setara Rp 190.711.522 (Kurs tanggal 6 Desember 2019; \$1 = Rp 14.026,-) dan juga operating cost atau biaya operasi per tahun yang harus dikeluarkan sebesar \$ 29.677 atau setara Rp 416.249.602,-. Dari hasil optimasi Homer, konfigurasi pembangkit listrik tenaga surya yang paling optimum terdiri dari sel surya (photovoltaic) 10 kW, konverter 10 kW dan Grid. Konfigurasi ini dipilih karena memiliki nilai NPC yang paling rendah, hal ini dapat dilihat pada Tabel 4.2, di mana total NPC sebesar \$ 392.973 atau setara Rp 5.511.839.298,- (Kurs tanggal 6 Desember 2019; \$1 = Rp 14.026,-) dan selain itu juga memiliki nilai COE yang terkecil, yaitu sebesar \$ 0,101/kWh. Data – data tersebut didapat dari perhitungan – perhitungan berikut :

$$\begin{aligned}
 \text{Net Present Cost} &= \frac{\text{Total annual cost}}{\text{CRF}} = \frac{\$ 30.741/\text{tahun}}{0.078226} \\
 &= \$ 392.976,759 \\
 \text{Cost of Energy} &= \frac{\text{Total annual cost}}{\text{AC Primary Load}} = \frac{\$ 30.741/\text{tahun}}{\$ 304.411} \\
 &= \$ 0.1009
 \end{aligned}$$

Sedangkan ketika energi listrik hanya bersumber dari Grid dalam hal ini PLN memiliki nilai NPC sebesar \$ 404.708 atau setara Rp 5.676.434.408,- (\$1 = Rp 14.026,-) dan memiliki selisih NPC sebesar \$ 11.735 atau setara Rp 164.595.110,-

3.1.1. Produksi Listrik Saat Bersistem PV-Grid

Hasil produksi listrik masing-masing komponen dijelaskan secara rinci pada Gambar 8.



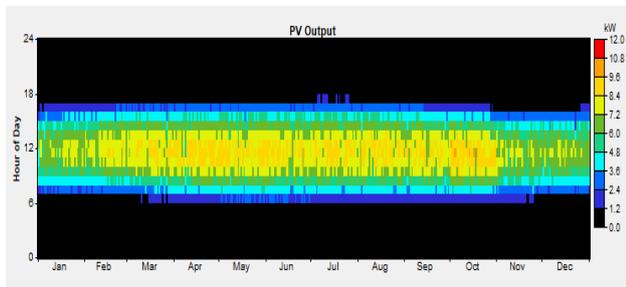
Gambar 8. Rata-rata produksi energi listrik pada sistem

Gambar 8. di atas menunjukkan rata-rata produksi energi listrik masing-masing komponen. Parameter keluaran yang terdapat pada grafik di atas adalah panel surya (kuning), dan Grid (Ungu). Produksi listrik yang dihasilkan oleh panel surya yaitu sebesar 22.244 kWh/tahun dan Grid sebesar 284.061 Kw/tahun. Total produksi listrik yang dihasilkan oleh sistem panel surya dan grid rata-rata pertahun sebesar 306.305 kWh. Dengan persentase panel surya sebesar 7% dan Grid 93%.

Excess electricity atau jumlah kelebihan listrik yang terdapat pada sistem ini adalah sebesar 0.00419 kWh pertahun atau 0.00 %. Kelebihan listrik ini adalah selisih total produksi energi listrik selama satu tahun yang dihasilkan oleh sistem dan total beban yang disuplai. Renewable Fraction atau jumlah energi terbarukan yang dapat diperbaharui pada sistem sebesar 0.0726.

3.1.2. Daya yang dihasilkan PLTS

Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) adalah peralatan pembangkit listrik yang mengubah energi matahari menjadi energi listrik. Pada siang hari antara pukul 06.00-18.00 modul surya menerima cahaya matahari yang kemudian diubah menjadi listrik melalui proses fotovoltaik.

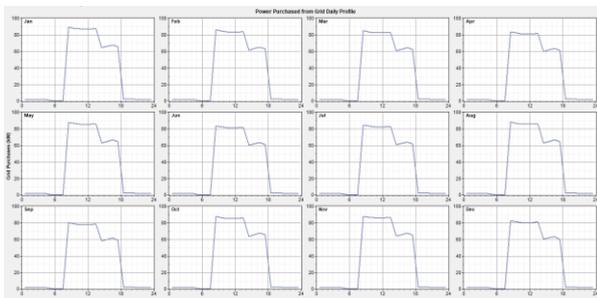


Gambar 9. Daya yang dihasilkan PLTS

Tabel 10. Parameter keluaran PLTS

Quantity	Value	Units
Rated capacity	10	kW
Mean output	2.5	kW
Mean output	60.9	kWh/hari
Capacity factor	23,4	%
Total production	22.244	kWh/thn
Levelized cost	0.0421	\$/kWh

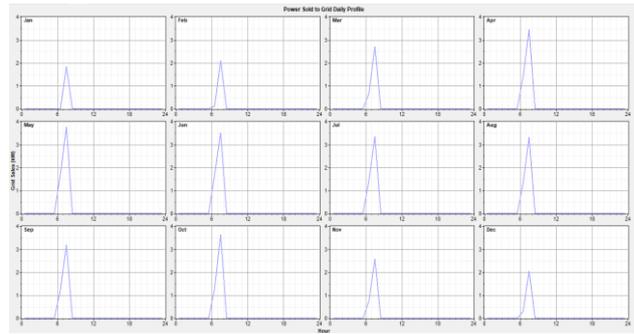
3.1.3. Daya yang dihasilkan Grid



Gambar 10. Grafik Pembelian Grid dalam Setahun

Pada proyek perencanaan Pembangkit Listrik Tenaga Surya ini menggunakan sistem On Grid, yang artinya Grid dalam hal ini PLN juga ikut menyuplai daya guna memenuhi kebutuhan daya per hari nya. Seperti yang dapat

dilihat dari hasil Optimasi, konfigurasi yang optimal adalah dengan menggunakan Grid, konverter dan juga PV. Dalam sistem ini juga diterapkan sistem penjualan beban lebih dari hasil PV untuk dijual kembali ke Grid (jikalau ada) dikarenakan untuk beban pada akhir pekan hanya menggunakan sedikit daya dari PV dikarenakan beban yang disuplai lebih sedikit dari hari biasa. Berikut adalah grafik penjualan dan pembelian pada Grid.



Gambar 11. Grafik Penjualan ke Grid dalam Setahun

Month	Energy	Energy	Net	Peak	Energy	Demand
	Purchased	Sold	Purchases	Demand	Charge	Charge
	(kWh)	(kWh)	(kWh)	(kW)	(\$)	(\$)
Jan	25,161	57	25,104	117	2,617	0
Feb	21,856	63	21,793	117	2,273	0
Mar	23,912	104	23,808	117	2,487	0
Apr	22,785	145	22,640	116	2,370	0
May	24,732	171	24,562	116	2,572	0
Jun	22,789	157	22,632	116	2,370	0
Jul	23,822	148	23,674	116	2,477	0
Aug	24,764	144	24,620	116	2,575	0
Sep	21,957	133	21,824	117	2,284	0
Oct	24,789	153	24,636	116	2,578	0
Nov	24,128	100	24,028	117	2,509	0
Dec	23,366	73	23,293	117	2,430	0
Annual	284,061	1,447	282,614	117	29,542	0

Gambar 12. Hasil Simulasi Grid Pada Homer

Gambar di atas adalah hasil simulasi dari HOMER yang menunjukkan angka Energi yang di beli (Energy Purchased) , Energi yang terjual (Energy Sold) , Net Purchases ,Peak Demand, Energy Charge dan Demand Charge.

Dapat dilihat di kolom energi terjual dan energi yang dibeli, di setiap bulannya terjadi perbedaan angka, hal ini bisa saja terjadi karna pengaruh beban tiap bulannya dan iradiasi matahari tiap bulannya sehingga mempengaruhi daya yang dihasilkan oleh PV maupun Grid. Hal ini dikarenakan listrik yang akan dijual kembali ke grid adalah berasal dari daya yang dihasilkan oleh PV. Dapat dilihat pada Energy Purchased menunjukkan angka 284.061 kWh/tahun sedangkan Energy Sold menunjukkan angka 1.447 kWh/tahun.

Net Purchased adalah Kwh tetap yang dibeli (jikalau positif) atau dijual (jikalau negatif) . *Net Purchased* didapatkan melalui hasil pengurangan dari *Energy Purchased* dan *Energy Sold*. Dapat dilihat di gambar 4.11 pada kolom *Net Purchased* menunjukkan angka 282.614 kWh dalam setahun.

Sedangkan *Energy Charge* adalah harga yang harus dibayarkan setiap bulannya. Angka ini 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 4.11 pada kolom *Energy Charge* menunjukkan angka \$ 29.542 dalam setahun.

3.2. Hasil Optimasi HOMER Saat Bersistem Grid

Proses optimasi dilakukan setelah proses simulasi. Proses optimasi Homer sebelum menggunakan PV dilakukan untuk mengetahui berapa biaya yang dikeluarkan serta mengetahui daya listrik yang dihasilkan oleh Grid untuk memenuhi kebutuhan beban di Teknik Elektro Universitas Diponegoro.

Gambar di bawah ini menunjukkan hasil dari optimasi jika konfigurasi pada Homer hanya mengandalkan sumber daya dari Grid.

Grid (kW)	Initial Capital	Operating Cost (\$/yr)	Total NPC	COE (\$/kWh)	Ren. Frac.
1000	\$ 0	31,659	\$ 404,708	0.104	0.00

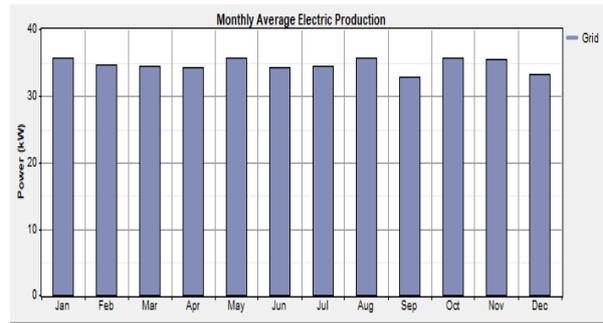
Gambar 13. Hasil Optimasi Homer saat bersistem Grid

Dari Gambar 13. terlihat bahwa jikalau hanya menggunakan Grid sebagai sumber daya terlihat bahwa *Initial Capital* yang dibutuhkan adalah \$0. Hal ini dikarenakan tidak ada nya pembelian alat guna menghasilkan daya. Sedangkan *Operating Cost* atau biaya operasinya sebesar \$ 31.659. Harga tersebut yang harus dikeluarkan dalam setahun untuk daya yang dihasilkan oleh Grid. Sedangkan NPC nya \$ 404.708. Harga tersebut yang harus dikeluarkan dalam sistem Grid-Beban dalam 25 Tahun.

3.2.1. Produksi Listrik Saat Bersistem Grid

Hasil Produksi listrik dari Grid dijelaskan rinci pada Gambar 14.

Gambar 14. di atas menunjukkan bahwa total sumber daya listrik yang dihasilkan berasal dari Grid. Total Produksi listrik yang dihasilkan oleh sistem Grid pertahun sebesar 304.413 kWh.



Gambar 14. Produksi energi listrik pada sistem Grid-Beban

Month	Energy Purchased	Energy Sold	Net Purchases	Peak Demand	Energy Charge	Demand Charge
	(kWh)	(kWh)	(kWh)	(kW)	(\$)	(\$)
Jan	26,628	0	26,628	121	2,769	0
Feb	23,332	0	23,332	121	2,427	0
Mar	25,699	0	25,699	121	2,673	0
Apr	24,600	0	24,600	121	2,558	0
May	26,628	0	26,628	121	2,769	0
Jun	24,600	0	24,600	121	2,558	0
Jul	25,699	0	25,699	121	2,673	0
Aug	26,628	0	26,628	121	2,769	0
Sep	23,671	0	23,671	121	2,462	0
Oct	26,628	0	26,628	121	2,769	0
Nov	25,529	0	25,529	121	2,655	0
Dec	24,770	0	24,770	121	2,576	0
Annual	304,413	0	304,413	121	31,659	0

Gambar 15. Hasil simulasi Grid

Gambar 15. adalah hasil simulasi dari HOMER , gambar di atas menunjukkan angka Energi yang dibeli (*Energy Purchased*) , Energi yang terjual (*Energy Sold*) , *Net Purchases*, *Peak Demand*, *Energy Charge* dan *Demand Charge*.

Dapat dilihat pada kolom *energy sold* bernilai 0 , hal ini dikarenakan tidak adanya energi listrik yang dapat dijual kembali ke grid, dikarenakan tidak adanya sumber energi lain selain grid yang menghasilkan energi listrik. Sedangkan pada kolom *energy charge* terlihat harga yang harus dibayarkan setiap bulannya dan total per tahunnya adalah \$ 31.659 hal ini sesuai dengan harga *Operating Cost* pada hasil optimasi grid-beban.

3.3. Analisis Ekonomi Teknik

Analisis ekonomi teknik yang dilakukan terdiri dari parameter perhitungan. Hasil perhitungan dengan menggunakan software HOMER. Pada perhitungan ini, digunakan beban keluaran dari HOMER yang bernama AC Primary Load.

Sedangkan parameter yang akan disimulasikan adalah net present cost (NPC) yang terjadi pada masa proyek selama 25 tahun dan cost of energy (COE) atau biaya yang

dibutuhkan tiap kWh. Dari kedua parameter tersebut dapat dihitung nilai pendapatan yang diperoleh dalam waktu 25 tahun dan waktu ketika terjadi break even point (BEP). Hasil akhir dari perhitungan analisis ekonomi teknik ini adalah dapat mengetahui berapa harga yang harus dibayar pada pengelola.

Sebelum menghitung parameter-parameter tersebut, perlu diketahui nilai investasi awal dan biaya pemeliharaan dalam masa proyek 25 tahun. Nilai tersebut akan menjadi dasar dari perhitungan NPC, COE, dan BEP. Berikut nilai investasi awal dan biaya operasional serta pemeliharaan.

3.3.1. Biaya Investasi Awal

Biaya awal untuk pengadaan komponen dari perancangan yang telah di lakukan dapat dilihat pada Tabel 11. berikut :

Tabel 11. Biaya investasi awal

Komponen	Harga (Rp) Per Unit	Jumlah	Harga Total (Rp)	Harga Total (\$)
Panel Surya 280Wp	Rp.3.916.945,-	38	Rp 148.843.910,-	\$ 10.612
Inverter 10 Kw	Rp 41.867.610,-	1	Rp 41.867.610,-	\$ 2985
Biaya lain-lain	-	-	Rp 10.000.000,-	\$ 713
Total Biaya			Rp 200.711.520,-	\$ 14.309,96

Biaya investasi awal pada Tabel 11. tidak termasuk ongkos kirim, biaya operasional dan pemeliharaan. Biaya investasi diubah dalam bentuk kurs dollar dengan nilai kurs rupiah pada tanggal 6 Desember 2019 sebesar Rp 14.026. Nilai kurs dollar ini yang menjadi parameter perhitungan di *software* Homer.

3.3.2. Biaya Operasional dan Pemeliharaan

Biaya operasional dan pemeliharaan yang digunakan merupakan biaya sebesar 1% dari biaya investasi awal, dengan nilai sebagai berikut :

Tabel 12. Biaya operasional dan pemeliharaan

Komponen	O&M(Rupiah)	O&M (\$)
76 Unit Panel Surya 320Wp	Rp 1.488.439,-	\$ 106
1 Unit Inverter 10 kW	Rp 418.676,-	\$ 29,85
Biaya lain-lain	Rp 100.000,-	\$ 7,13
TOTAL	Rp 2.007.115,-	\$ 135,85

Biaya operasional dan pemeliharaan pada Tabel 12. tidak termasuk ongkos kirim. Pada perhitungan ini menggunakan beban keluaran Homer yakni Pv, Grid dan AC Primary Load. Berikut nilai beban pada *software* Homer :

Production			Consumption		
	kWh/yr	%		kWh/yr	%
PV array	22,244	7	AC primary load	304,411	100
Grid purchases	284,061	93	Grid sales	1,447	0
Total	306,305	100	Total	305,857	100

Gambar 16. Masukan beban HOMER

Dari Gambar 16. dapat dilihat daya yang dihasilkan PV sebesar 22.244 kWh/tahun dan Grid sebesar 284.061 kWh/tahun. Dengan persentase PV sebesar 7% dan Grid sebesar 93%. Total beban yang dihasilkan selama setahun sebesar 306.305 kWh.

3.3.3. Break Event Point (BEP)

Break even point merupakan keadaan dimana nilai investasi dan pendapatan berada di titik 0, atau dapat dikatakan berada pada kondisi tidak mengalami kerugian dan tidak mengalami keuntungan. Nilai BEP diperlukan untuk dapat memperkirakan pada tahun ke berapa investor mulai mengalami keuntungan. Dikarenakan *software* Homer tidak menghitung nilai BEP, maka digunakan perhitungan secara manual. Menurut persamaan untuk mencari nilai BEP dibutuhkan beberapa parameter yang ada pada *software* Homer yaitu nilai biaya total yang dihasilkan ketika hanya di suplai Grid dan biaya total yang dihasilkan ketika di suplai PV dan juga Grid selama setahun. Berikut perhitungan yang dihasilkan ketika terjadi BEP :

$$\begin{aligned}
 \text{Keuntungan per tahun} &= \text{Total biaya Grid} - \text{Total biaya PV dan Grid} \\
 &= \$ 31.659 - \$ 30.741 \\
 &= \$ 918 \text{ per tahun}
 \end{aligned}$$

Dari hasil tersebut, jika di masukan kedalam kurs rupiah (Kurs rupiah 6 Desember 2019 1\$ = 14.026), keuntungan yang diperoleh selama setahun adalah sebesar Rp 12.875.868,-. Kemudian biaya investasi awal dibagikan dengan hasil keuntungan per tahun, sehingga akan didapatkan BEP.

$$\text{Hasil BEP} = \frac{\text{Biaya investasi awal}}{\text{Keuntungan per tahun}} = \frac{14.309,6}{918} = 15,58 \text{ Tahun}$$

Dari perhitungan tersebut dapat dilihat bahwa waktu yang dibutuhkan untuk mendapatkan titik balik modal atau BEP adalah di tahun ke 15,85 dengan jangka waktu 25 tahun dan suku bunga 6%. Dan kisaran hasil keuntungan yang diperoleh selama jangka waktu 25 tahun adalah sebagai berikut:

$$\begin{aligned}
 \text{Total Keuntungan} &= (\text{Lifetime} - \text{Hasil BEP}) \\
 &\times \text{Keuntungan per tahun} \\
 &= (25 - 15,58) \times \$ 918 \\
 &= \$ 8.647,56
 \end{aligned}$$

Jika dimasukkan kedalam kurs rupiah (Kurs rupiah 6 Desember 2019 1\$ = 14.026) maka kisaran keuntungan yang diporelasi selama jangka waktu 25 tahun dengan suku bunga 6% adalah sebesar Rp 121.290.677,-. Dari segi ekonomis waktu yang dibutuhkan untuk terjadinya BEP terbilang lama, dikarenakan panel surya hanya mensuplai beban sebesar 7% dan terbatasnya lahan untuk pemasangan panel surya yang ada di Teknik Industri Universitas Diponegoro tepatnya dilahan parkir dengan luas 9,5 x 8 m³.

4. Kesimpulan

Total daya yang harus disuplai oleh sistem PLTS ini untuk memenuhi kebutuhan beban adalah sebesar 834 kWh/hari dengan beban puncak 121, beban rata-rata 34,8 Kw, dan faktor beban 0,288. Kebutuhan beban ini adalah rata-rata dari beban pada weekdays dan weekend. Hasil optimasi pada software Homer menunjukkan konfigurasi yang paling optimal adalah menggunakan Grid-PV-Inverter. Hal ini dikarenakan konfigurasi tersebut memiliki nilai Net Present Cost yang paling rendah yaitu sebesar \$ 392.973 (Rp. 5.511.839.298,-) dan CEO sebesar \$ 0.101/kWh dengan jangka waktu 25 tahun dan suku bunga 6%. Modal investasi awal yang harus dikeluarkan untuk perencanaan sistem PLTS ini sebesar \$ 14.309,96 (Rp 200.711.499,-). Terdiri dari harga PV sebesar \$ 10.612 (Rp 148.843.912,-), harga inverter sebesar \$ 2.985 (Rp 41.867.610,-) dan perkiraan biaya lainnya \$ 713 (Rp 10.000.000,-). Daya yang dihasilkan saat bersistem PV- Grid adalah 7% atau 22.244 kWh/tahun untuk PV dan 93% atau 284.061 kWh/tahun untuk Grid. Sedangkan saat mendapatkan sumber dari PLN saja daya yang disalurkan sebesar 304.413 kWh/tahun. Konsumsi daya pertahun pada saat bersistem PV - Grid adalah sekitar 305.857 kWh/tahun. Terdiri dari AC Primary Load sebesar 304.411 kWh/tahun dan Grid Sales sebesar 1.447 kWh/tahun. Energi daya yang dibeli setiap tahun nya pada saat bersistem PV - Grid adalah sebesar 284.061 kWh, sedangkan energi yang terjual sebesar 1.447 kWh. Dan energi yang harus dibayarkan sebesar \$29.542. (Rp 414.356.092,-). Titik balik modal atau BEP dari hasil analisis dan parameter yang ada pada software Homer terjadi di tahun ke 15,58 dengan investasi awal sebesar \$ 14.309,6 (Rp 200.706.450,-). Kisaran keuntungan yang diperoleh selama investasi jangka waktu 25 tahun dengan suku bunga 6% adalah sebesar \$ 8.647,56 atau setara dengan Rp 121.970.677,-.

Referensi

- [1] Data Intensitas Penyinaran, Radiasi Matahari, dan Temperatur 2018. Website NASA, <https://power.larc.nasa.gov/data-access-viewer>, 2019.
- [2] Andre Barry, "Optimasi Penggunaan Sumber Energi Listrik di Departemen Teknik Elektro Universitas Diponegoro Dengan Menggunakan Perangkat Lunak HOMER". Skripsi, Teknik Elektro, Universitas Diponegoro, 2014.
- [3] T. Lambert, P. Gilman, dan P. Lilienthal, "Micropower system modeling with HOMER", Mistaya Engineering Inc, National Renewable Energy Laboratory, USA, 2012.
- [4] T. C. Wijaya, "Optimasi potensi energi terbarukan untuk sistem pembangkit *hybrid* di Desa Margajaya Bengkulu Utara menggunakan perangkat lunak HOMER", Skripsi, Teknik Elektro, Universitas Diponegoro, Semarang, 2014.
- [5] Lambertus Sinaga, "Optimasi Sistem Pembangkit Listrik Hibrida Tenaga Surya, Angin, Biomassa, dan Diesel di Pulau Nyamuk Karimunjawa Jawa Tengah Dengan Menggunakan Perangkat Lunak HOMER" Skripsi, Teknik Elektro, Universitas Diponegoro, Semarang, 2015.
- [6] Agus, S, I Kadek, Analisa Unjuk Kerja Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) 1 MWp Terinterkoneksi Jaringan Di Kayubih, Bangli. Denpasar, Universitas Udayana, 2008. [6] Jurnal Taufik Wijaya "Optimasi potensi energi terbarukan untuk sistem pembangkit *hybrid* di Desa Margajaya Benngkulu Utara menggunakan perangkat lunak HOMER"
- [7]. ABB, *Technical Application Papers NO.10 Photovoltaic Plants*, Bergamo Italy, 2008,
- [8]. Omran, Walid, *Performance Analysis of Grid Connected Photovoltaic Systems, Electrical and Computer Engineering University of Waterloo*, 2010.
- [9]. "Getting started guide for HOMER legacy version 2.68", National Renewable Energy Laboratory of USA, USA. 2011.
- [10]. Spesifikasi Panel Surya YL320P-35b
- [11]. Spesifikasi Inverter Princeton Power System tipe GTIB 100 GI2
- [12]. Universitas Diponegoro, 2018. Lokasi Univeritas Diponegoro. <https://www.undip.ac.id/language/id/lokasi> (diakses pada 15 Juli 2018)