

OPTIMASI PENGGUNAAN SUMBER ENERGI LISTIK DI GEDUNG FAKULTAS PSIKOLOGI UNIVERSITAS DIPONEGORO DENGAN MENGGUNAKAN PERANGKAT LUNAK HOMER

Muhammad Anang Maulana ^{*)}, Agung Nugroho dan Bambang Winardi

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

^{*)}E-mail: anang.maulana1234@gmail.com

Abstrak

Fakultas Psikologi Universitas Diponegoro terletak di Semarang, Jawa Tengah. Lokasi ini memiliki iradiasi iradiasi yang cukup besar, oleh karenanya hal ini dapat dimanfaatkan untuk membangun pembangkit listrik tenaga surya (PLTS). PLTS adalah sistem pembangkit yang memanfaatkan sinar matahari untuk dikonversi menjadi energi listrik menggunakan PV (photovoltaic). HOMER adalah suatu perangkat lunak untuk pemodelan sistem pembangkit skala kecil untuk membantu mengevaluasi desain dari jaringan tunggal (off-grid) maupun jaringan yang terkoneksi dengan sistem (grid-connected). Pemodelan dalam HOMER memungkinkan untuk membandingkan banyak opsi desain yang berbeda mengacu pada parameter teknis dan ekonomis. Dengan menggunakan HOMER diharapkan dapat mengetahui konfigurasi sistem pembangkit yang optimal juga dapat mengetahui besar potensi energi terbarukan di Fakultas Psikologi. Hasilnya dengan menggunakan HOMER di dapat konfigurasi yang optimal yaitu photovoltaic (PV)-Grid, dengan 361.355 kWh/tahun untuk daya yang dihasilkan oleh PV dan 241.520 kWh/tahun daya yang disuplai oleh grid untuk memenuhi permintaan beban sebesar 592.015 kWh/tahun.

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

Abstract

The Faculty of Psychology Diponegoro University located in Semarang, Central Java. This location has large amount of solar irradiated, so that can be used to build solar power plant. Solar power plant is a facility that convert sunlight into electricity. HOMER is a software for small-scale power plant modeling systems for design assistance from a single network (off-grid) or network connected to the system (grid-connected). HOMER made it possible for modeling in order to compare many an option a different design depend of the benefits of neither the technical skills nor the economic. By using HOMER, it is expected to be able to find out the optimal configuration of the generating system and also to find out the potential of renewable energy in the Faculty of Psychology. The result by using HOMER is the optimal configuration of photovoltaic (PV) - Grid, with 361,355 kWh / year for power generated by PV and 241,520 kWh / year of power supplied by the grid to full fill load demands of 592,015 kWh / year.

Keywords: renewable energy , plts , homer , the grid , photovoltaic ,

1. Pendahuluan

Penggunaan dan permintaan energi listrik kian meningkat setiap waktunya, yang mana faktor tersebut dipengaruhi langsung oleh laju ekonomi suatu negara. Namun sebagian besar kebutuhan listrik Indonesia masih dihasilkan melalui pengolahan energi fosil. Telah kita ketahui bahwa penggunaan energi fosil sangatlah berdampak buruk bagi lingkungan mulai dari polusi hingga pencemaran limbah. Energi fosil merupakan energi yang tak dapat diperbarui yang mana sewaktu-waktu dapat habis pula, sehingga perlu adanya perubahan mengenai penggunaan energi fosil menuju energi yang terbarukan. Saat ini Pemerintah Republik Indonesia melalui Kementerian ESDM

menyusun rencana Umum Energi Nasional dengan menargetkan bauran Energi Baru dan Terbarukan (EBT) mencapai 23% pada tahun 2025.

Sementara itu menurut data PLN pada Oktober 2019 penggunaan EBT baru mencapai 12,1%. Indonesia sebagai negara tropis semestinya memiliki potensi energi surya yang sangat besar yang dapat dimanfaatkan sebagai sumber energi alternatif. Sebagai negara yang wilayahnya dilewati oleh garis khatulistiwa Indonesia mempunyai tingkat radiasi rata-rata yang relatif tinggi yaitu sebesar 5,5 kWh/m²/hari. [1]. Berdasarkan data tersebut penggunaan photovoltaic sangatlah cocok sebagai penghasil energi listrik terbarukan di Indonesia. Penggunaan photovoltaic bisa diterapkan pada bangunan apapun, mulai dari gedung

perkantoran, perumahan, industri, dan sarana publik lainnya

Universitas Diponegoro sebagai salah satu kampus negeri yang terletak di Kecamatan Tembalang, Kota Semarang, Provinsi Jawa Tengah. Secara Geografis, Universitas Diponegoro terletak pada posisi 7°03'04.5" Lintang Selatan dan 110°26'27.5" Bujur Timur. [3]. Universitas Diponegoro terdiri dari 11 Fakultas dan 2 sekolah, dengan rincian 21 Program Studi Diploma (D3), 51 Program Studi Sarjana, 35 Program Studi Magister (S2), 18 Program Pendidikan Dokter Spesialis, 3 Program Profesi dan 13 Program Studi Doktor (S3). Salah satu Fakultas yang ada di Universitas Diponegoro adalah Fakultas Psikologi.

Bedasarkan data *National Aeronautic and Space Administration (NASA)*, Daerah Kota Semarang yang merupakan wilayah Fakultas Psikologi Universitas Diponegoro berada, memiliki rata-rata radiasi matahari sebesar 5,51 kWh/m²/d, dan juga memiliki rata-rata suhu sebesar 25,7°C. [3] Dimana hal ini data ini dapat dimanfaatkan dengan optimal untuk menghasilkan energi listrik yang dapat membantu menghemat biaya konsumsi listrik dari pembelian listrik PLN di Gedung Fakultas Psikologi Universitas Diponegoro.

HOMER adalah suatu model sistem pembangkit skala kecil (*micropower*) 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. Perangkat lunak ini melakukan perhitungan keseimbangan energi untuk setiap 8.760 jam dalam setahun. Kemudian menentukan konfigurasi yang layak apakah dapat memenuhi kebutuhan listrik dibawah kondisi yang ditentukan, perkiraan biaya instalasi dan sistem operasi selama masa proyek. [15]

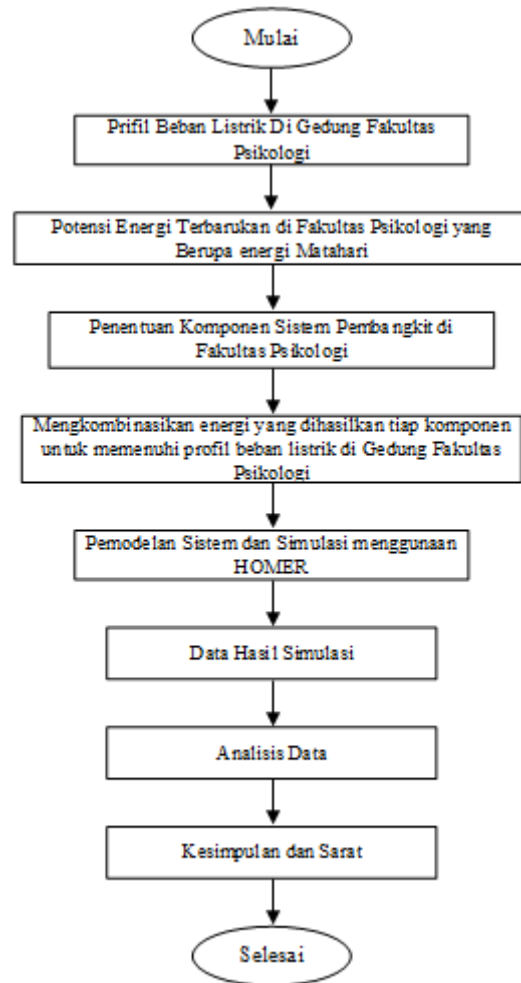
Tujuan pembuatan tugas akhir adalah sebagai berikut :

1. Mengetahui besar potensi energi matahari yang terdapat di Fakultas Psikologi Universitas Diponegoro.
2. Mengetahui beban harian, beban puncak, beban rata-rata, dan faktor beban.
3. Mengetahui modal awal proyek.
4. Mengetahui pembelian dan penjualan energi listrik.
5. Menganalisis kinerja masing-masing komponen sistem pembangkit listrik saat bekerja bersama-sama dengan menggunakan perangkat lunak HOMER untuk kondisi *on-grid*.
6. Menentukan konfigurasi sistem pembangkit listrik yang optimal, dilihat dari biaya produksi energi listrik atau NPC (*Net Present Cost*) dan ketersediaan sumber energi terbarukan di Fakultas psikologi UNDIP menggunakan perangkat lunak HOMER untuk kondisi *on-grid*.

2. Perancangan Simulasi

2.1. Perancangan Simulasi PLTS di Gedung Fakultas Psikologi

Diagram alir dari metode perancangan simulasi sistem pembangkit listrik tenaga surya di Gedung Fakultas Psikologi Universitas Diponegoro menggunakan perangkat lunak HOMER dapat dilihat pada gambar 1.



Gambar 1. Diagram alir metode perancangan

2.2. Data Sistem

Data perancangan simulasi sistem PLTS ini terdiri dari beberapa hal penting, yaitu data peralatan elektronik yang terpasang sebagai profil beban listrik di Gedung Fakultas Psikologi, dan potensi energi terbarukan di Fakultas Psikologi.

2.2.1. Profil Beban

Tugas akhir ini menggunakan data beban dari Gedung Fakultas Psikologi. Dalam hal ini profil beban dihitung

berdasarkan penggunaan per-jam dan dibedakan menjadi dua periode, yaitu ketika *weekday* dan *weekend*.

Tabel 1. Profil Beban *Weekdays*

Jam	Beban (kWh)
00.00-01.00	6.237
01.00-02.00	6.237
02.00-03.00	6.237
03.00-04.00	6.237
04.00-05.00	6.237
05.00-06.00	6.237
06.00-07.00	19.677
07.00-08.00	43.359
08.00-09.00	118.916
09.00-10.00	141.178
10.00-11.00	145.804,5
11.00-12.00	186.152
12.00-13.00	125.074
13.00-14.00	134.633
14.00-15.00	185.823,5
15.00-16.00	136.953,5
16.00-17.00	127.885
17.00-18.00	116.065
18.00-19.00	101.863
19.00-20.00	67.052
20.00-21.00	44.085
21.00-22.00	11.777
22.00-23.00	6.921
23.00-00.00	6.237
Total	1.756.877,5

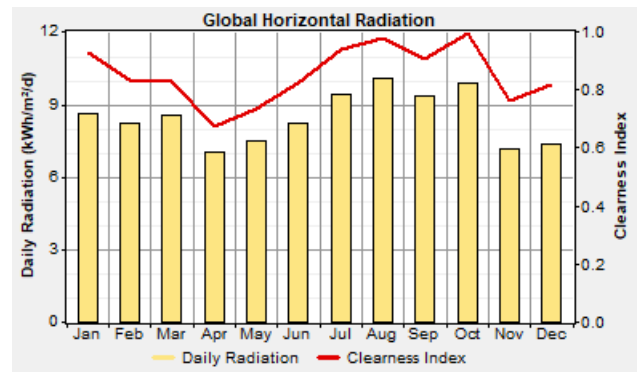
Tabel 2. Profil Data *Weekend*

Jam	Beban (kWh)
00.00-01.00	4.943
01.00-02.00	6.173
02.00-03.00	6.173
03.00-04.00	6.173
04.00-05.00	6.173
05.00-06.00	6.173
06.00-07.00	4.859
07.00-08.00	4.859
08.00-09.00	4.983
09.00-10.00	4.983
10.00-11.00	33.307
11.00-12.00	6.507
12.00-13.00	6.552
13.00-14.00	8.224
14.00-15.00	16.197
15.00-16.00	14.514
16.00-17.00	41.314
17.00-18.00	17.108
18.00-19.00	18.748
19.00-20.00	18.508
20.00-21.00	8.700
21.00-22.00	8.700
22.00-23.00	7.070
23.00-00.00	6.158
Total	267.099

2.2.2. Potensi Energi Matahari

Fakultas Psikologi 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 harinya. Data dari *National Aeronautic and Space Administration* (NASA) yang diakses dari laman resminya digunakan sebagai sumber informasi radiasi matahari di Fakultas Psikologi. Data yang diambil berasal dari update data tahun 2019. Pada perancangan simulasi ini data yang diperlukan adalah radiasi sinar matahari dan clearness index.

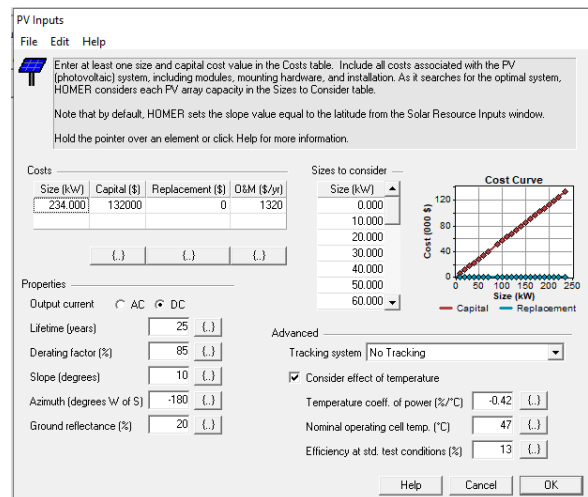


Gambar 2 Potensi energi Matahari di Fakultas Psikologi

2.2.3. Komponen Utama Sistem Pembangkit Listrik Tenaga Hibrida

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

A. Panel Surya (PV)



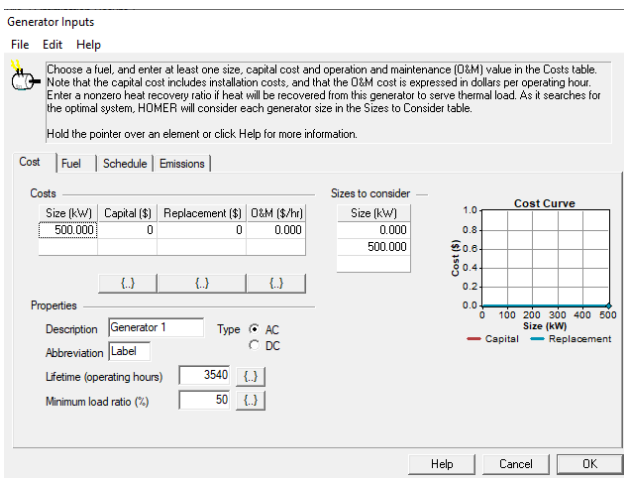
Gambar 3. Parameter masukan panel surya

HOMER memodelkan PV array sebagai komponen pembangkit energi listrik DC. Jenis panel PV yang direncanakan dalam perencanaan Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) di Gedung Fakultas Psikologi Universitas Diponegoro ini menggunakan panel PV

dengan merk Kenika NPS320W. Biaya dari PV array ditentukan melalui biaya modal yang dimiliki (\$), biaya pengganti komponen (\$), dan biaya operasi & pemeliharaan (\$/yr). Biaya pengganti adalah biaya untuk mengganti sel surya apabila mengalami kerusakan hingga batas waktu garansi.

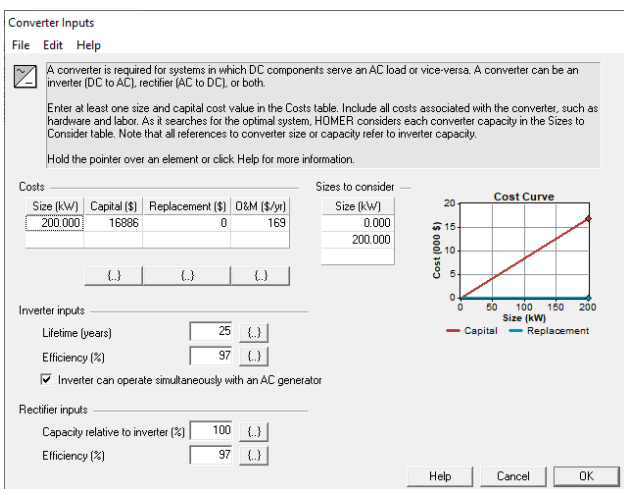
B. Generator Diesel

HOMER dapat memodelkan sistem tenaga listrik sebanyak tiga generator, dengan keluaran berupa AC/DC, dan bahan bakar yang berbeda. Pada simulasi generator diesel yang digunakan adalah Intergen MAN D2676 LE223. Dalam hal ini fungsi generator digunakan hanya sebagai *back-up* daya pengganti ketika sumber listrik dari PLN padam.



Gambar 4. Parameter masukan generator diesel

C. Konverter



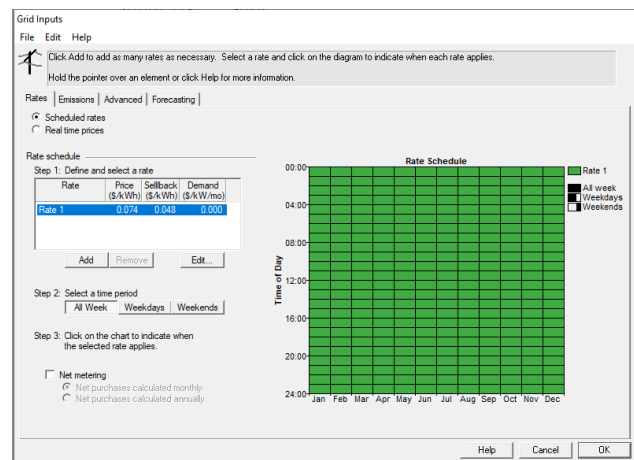
Gambar 5. Parameter masukan inverter

Konverter yang digunakan adalah jenis *Grid Tie Inverter* yang digunakan dalam sistem PLTS *OnGrid* tipe GTIB-

100-G1.2 dai Princeton Power System . Pemilihan *inverter* jenis ini dengan pertimbangan karena spesifikasi dari *inverter* ini dapat terhubung dengan jaringan listrik PLN, sehingga dapat menentukan kapan harus mengambil listrik dari PLN dan kapan memasok listrik hasil PLTS ke jaringan PLN.

D. Grid

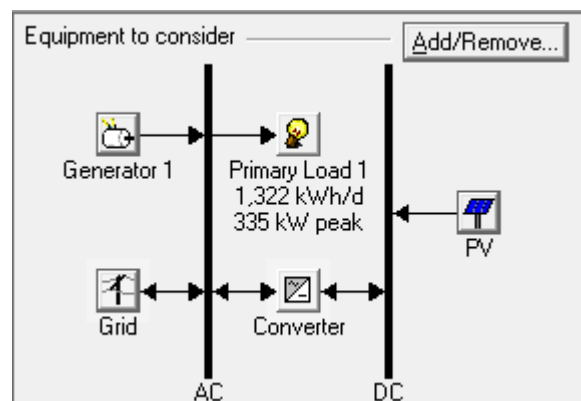
Perencanaan sistem pembangkit energi terbarukan ini di buat dengan sistem *on-grid* sehingga membutuhkan aliran listrik dari PLN. Di HOMER sendiri parameter yang dimasukkan adalah harga pembelian dan juga harga penjualan listrik tersebut.



Gambar 6. Parameter masukan Grid

3. Simulasi dan Analisis
3.1. Hasil Optimasi HOMER

Proses optimasi dilakukan setelah proses simulasi selesai dilakukan. Proses simulasi awal ini bertujuan untuk menentukan variabel ukuran optimum pada masing-masing komponen utama yang terpasang saat beroperasi sendiri.



Gambar 7. Konfigurasi sistem pembangkit hibrida saat optimasi

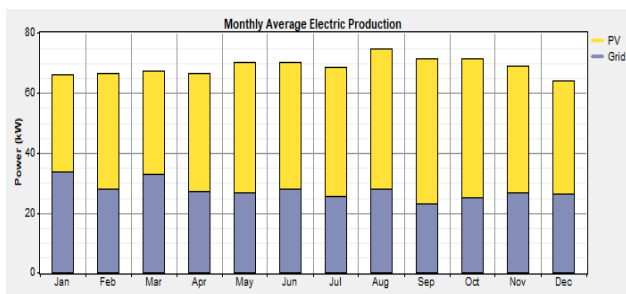
Sensitivity Results		Optimization Results									
Double click on a system below for simulation results.											
	PV (kW)	Label (kW)	Conv. (kW)	Grid (kW)	Initial Capital	Operating Cost (\$/yr)	Total NPC	COE (\$/kWh)	Ren. Frac.	Diesel (L)	Label (hrs)
<input checked="" type="checkbox"/>	234	500	200	1000	\$ 148,886	14,170	\$ 304,106	0.058	0.60		0
<input checked="" type="checkbox"/>	234	200	1000	1000	\$ 148,886	14,170	\$ 304,106	0.058	0.60		0
<input checked="" type="checkbox"/>		500		1000	\$ 0	35,900	\$ 393,256	0.074	0.00		0
<input checked="" type="checkbox"/>				1000	\$ 0	35,900	\$ 393,256	0.074	0.00		0

Gambar 8. Konfigurasi optimum sistem PLTH hasil optimasi HOMER

HOMER mengurutkan hasil konfigurasi berdasarkan nilai NPC (*Net Present Cost*) terkecil. NPC merupakan biaya keseluruhan sistem selama jangka waktu yang telah ditentukan. Hasil konfigurasi sistem yang optimum ditunjukkan pada Gambar 8.

Konfigurasi pembangkit listrik hibrida yang optimum yaitu terdiri dari panel surya (photovoltaic) 234 kW, konverter 200 kW, dan grid. Dengan nilai NPC paling rendah yang \$304.106.

3.2. Produksi Listrik Saat Bersistem Hibrida



Gambar 9 Rata-rata produksi energi listrik pada sistem

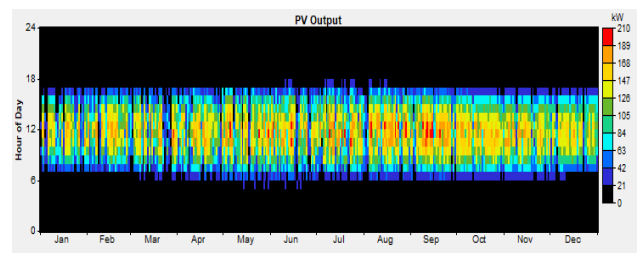
Gambar 9 di atas menunjukkan rata-rata produksi energi listrik tiap komponen sistem dalam satu bulan. Parameter keluaran yang terdapat pada grafik di atas adalah sel surya (kuning), dan Grid (Ungu). Total produksi listrik yang dihasilkan oleh sistem panel surya dan grid rata-rata pertahun sebesar 602.855 kWh.

Excess electricity atau kelebihan listrik yang terdapat pada sistem ini adalah sebesar 0.000928 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* pada sistem sebesar 0.6 %. *Renewable Fraction* adalah persentase jumlah energi terbaharukan pada sistem.

3.2.1. Daya Yang Dihasilkan PLTS

Gambar 10 merupakan daya rata-rata yang dihasilkan oleh PLTS selama setahun yang terjadi dalam rentang waktu 24 jam. Hasil simulasi tersebut menunjukkan bahwa daya

output akan maksimal pada pukul 10.00-15.00 dengan total produksi energi pertahun sebesar 361.355 kWh.



Gambar 10 Daya yang dihasilkan PLTS

3.2.2. Daya Yang Dihasilkan Grid

Month	Energy Purchased	Energy Sold	Net Purchases	Peak Demand	Energy Charge	Demand Charge
	(kWh)	(kWh)	(kWh)	(kW)	(\$)	(\$)
Jan	25,122	6,360	18,762	254	1,562	0
Feb	18,798	7,697	11,100	190	1,027	0
Mar	24,453	7,648	16,806	209	1,450	0
Apr	19,438	7,730	11,708	264	1,073	0
May	19,790	10,547	9,243	201	963	0
Jun	20,225	9,597	10,627	218	1,041	0
Jul	18,831	9,755	9,076	203	930	0
Aug	20,901	10,079	10,822	212	1,068	0
Sep	16,453	11,973	4,480	173	646	0
Oct	18,547	10,325	8,222	170	881	0
Nov	19,334	9,340	9,994	212	987	0
Dec	19,628	8,433	11,195	174	1,053	0
Annual	241,520	109,484	132,036	264	12,681	0

Gambar 10 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*.

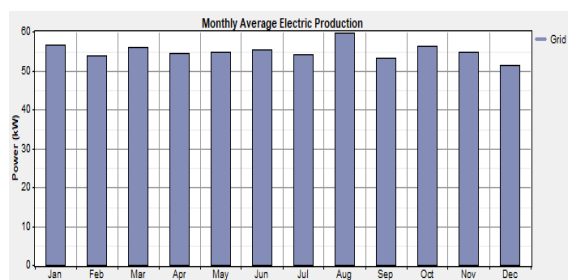
Dapat dilihat di kolom energi terjual dan energi yang dibeli, di setiap bulannya terjadi perbedaan angka, hal ini bisa saja terjadi karna pengaruh beban tiap bulannya dan iradiasi matahari tiap bulannya sehingga mempengaruhi daya yang dihasilkan oleh PV. Hal ini dikarenakan listrik yang akan dijual kembali ke grid adalah berasal dari daya yang dihasilkan oleh PV. Dapat dilihat pada *Energy Purchased* menunjukkan angka 241.520 kWh per tahun sedangkan *Energy Sold* menunjukkan angka 109.484 kWh per tahun.

Net Purchased merupakan Kwh tetap yang dibeli (bernilai positif) atau dijual (bernilai negatif). *Net Purchased* merupakan pengurangan dari *Energy Purchased* dan *Energy Sold*. Dapat dilihat di gambar 10 pada kolom *Net Purchased* menunjukkan angka 132.036 kWh per tahun.

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 10 pada kolom *Energy Charge* menunjukkan angka \$12.681 per tahun.

3.3. Produksi Listrik Sebelum Bersistem Hibrida



Gambar 11. Produksi energi listrik pada sistem Grid-Beban

Gambar di atas menunjukkan bahwa total sumber daya listrik yang digunakan berasal dari Grid. Total energi listrik yang berasal dari sistem Grid pertahun sebesar 482.531 kWh per tahun.

Month	Energy Purchased (kWh)	Energy Sold (kWh)	Net Purchases (kWh)	Peak Demand (kW)	Energy Charge (\$)	Demand Charge (\$)
Jan	42,181	0	42,181	273	3,138	0
Feb	36,083	0	36,083	335	2,685	0
Mar	41,625	0	41,625	262	3,097	0
Apr	39,252	0	39,252	310	2,920	0
May	40,699	0	40,699	281	3,028	0
Jun	39,974	0	39,974	299	2,974	0
Jul	40,311	0	40,311	292	2,999	0
Aug	44,372	0	44,372	273	3,301	0
Sep	38,332	0	38,332	323	2,852	0
Oct	41,892	0	41,892	285	3,117	0
Nov	39,474	0	39,474	244	2,937	0
Dec	38,335	0	38,335	264	2,852	0
Annual	482,531	0	482,531	335	35,900	0

Gambar 12. Hasil simulasi Grid

Gambar 12 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 berarti tidak ada energi listrik yang dijual kembali ke grid, dikarenakan tidak adanya produksi listrik dari sumber lain. Sedangkan pada kolom *energy charge* terlihat harga yang harus per tahunnya adalah \$35.900 hal ini sesuai dengan harga *Operating Cost* pada hasil optimasi grid-beban.

4. Kesimpulan

Rata-rata daya yang harus disuplai oleh pembangkit hibrida ini adalah sebesar 1.322 kWh per hari dengan beban puncak sebesar 335 kW. Hasil optimasi pada homer menunjukkan konfigurasi yang paling optimal yaitu PV-

Grid-Generator-Inverter dan Grid-PV-Inverter. Karna memiliki nilai NPC yang paling rendah yaitu \$304.106. Modal awal yang harus dikeluarkan untuk mengawali perencanaan sistem PLTH ini sebesar \$ 148.886. Daya yang dihasilkan saat bersistem PLTH adalah 361.335 kWh/tahun untuk PV dan 241.520 kWh/tahun untuk Grid dengan total 602.855 kWh/tahun. Konsumsi daya pertahun adalah berkisar 592.0115 kWh/tahun. Ketika bersistem PLTMH energi listrik yang dibeli dari grid setiap tahun nya adalah sebesar 241,520 kWh, sedangkan energi yang terjual sebesar 109,484 kWh. Dan energi yang harus dibayarkan sebesar \$12,681. Ketika hanya bersistem grid energi yang harus dibeli sebesar 482.531 kWh/tahun tanpa ada penjualan energi. Dan energi yang harus dibayar sebesar \$35.900. Selisih pembelian energi ketika bersistem PLTMH dengan sistem grid adalah sebesar \$23.219.

Referensi

- [1]. Kementerian ESDM Republik Indonesia, *Rencana Strategis Direktorat Jenderal Ketenagalistrikan 2015-2019*. 2015.
- [2]. Earthscan, *Planning and Installing Photovoltaic Systems: A guide for installers, architects and engineers - second edition*. 2008.
- [3]. NASA, "NASA Prediction of Worldwide Energy Resource (POWER) Higher Resolution Daily Time Series Climatology Resource for SSE-Renewable Energy." [Online]. Available: <https://power.larc.nasa.gov/data-access-viewer/>. [Accessed: 08-Feb-2020].
- [4]. W. Omran, "Performance Analysis of Grid-Connected Photovoltaic Systems, University of Waterloo," 2010.
- [5]. J. A. Duffie, W. A. Beckman, and J. McGowan, *Solar Engineering of Thermal Processes*, vol. 53, no. 4. 1985.
- [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]. B. Ramadhani, *Instalasi Pembangkit Listrik Tenaga Surya Dos & Don'ts*. 2018.
- [9]. ABB solutions for photovoltaic applications Group, *Technical Application Papers No.10. Photovoltaic plants*, vol. 10, no. 10. 2010.
- [10]. IFC, *Utility-Scale Solar Photovoltaic Power Plants*. 2015.
- [11]. M. Sengupta *et al.*, *Best Practices Handbook for the Collection and Use of Solar Resource Data for Solar Energy Applications*, no. NREL/TP-5D00-63112. 2015.
- [12]. Natural Resources Canada, *Clean Energy Project Analysis: RETScreen Engineering & Cases Textbook*, no. 3. 2005.
- [13]. E. P. D. Hattu, J. A. Wabang, and A. Palinggi, "PENGARUH BAYANGAN TERHADAP OUTPUT TEGANGAN DAN KUAT ARUS PADA PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA SURYA (PLTS)," *Hattu E. P D., J. ROTOR, Vol. 11 Nomor 2, Novemb. 2018*, vol. 11, no. November, 2018.

- [14]. M. K. M. D. Nadia Al-Rousan, Nor Ashidi Mat Isa, “Advances in Solar Photovoltaic Tracking Systems: A review,” *Renew. Sustain. Energy Rev.*, p. 21, 2018.
- [15]. T. Lambert, P. Gilman, dan P. Lilienthal, “Micropower system modeling with HOMER”, Mistaya Engineering Inc, National Renewable Energy Laboratory, USA, 2012.
- [16]. IFC, *Utility-Scale Solar Photovoltaic Power Plants*. 2015.