ANALISIS MODE SISTEM PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA HIBRID MICROHYDRO-PHOTOVOLTAIC ARRAY MENGGUNAKAN HOMER (STUDI KASUS : KAMPUNG BAYANG JANIAH, KABUPATEN PESISIR SELATAN)

Novi Kurniasih¹, Refdinal Nazir²

¹Program Studi Magister Teknik Elektro, Universitas Andalas

²Jurusan Teknik Elektro, Universitas Andalas

e-mail: novikurniasih88@yahoo.co.id

Abstrak—Dalam penelitian ini membahas tentang optimisasi desain dan analisis ekonomi teknik dari Pembangkit Listrik Tenaga Hibrid *Off-Grid Microhydro-Photovoltaic Array* dengan menggunakan bantuan perangkat lunak HOMER 2 versi 2.81. Pemanfaatan sistem Pembangkit Listrik Tenaga Hibrid (PLTH) dapat mengatasi permasalahan kelistrikan di Kampung Bayang Janiah, Nagari Koto Ranah, Kecamatan Bayang Utara, Kabupaten Pesisir Selatan yaitu jauh dari jangkauan jaringan listrik PLN dan dapat meningkatkan keandalan secara ekonomis dimana awalnya listrik beroperasi hanya 12 jam/hari yang bersumber dari PLTMH saja, dapat ditingkatkan menjadi beroperasi penuh selama 24 jam/hari. Dari analisa yang telah dilakukan, diperoleh ketersediaan debit bulanan air sungai Bayang Janiah dengan menggunakan metode F. J. Mock yaitu debit andalan 90% sebesar 102 L/s dengan *head* efektif 14 m mampu menggerakkan *hydro turbine* sehingga menghasilkan daya sekitar 11,3 kW. Sementara itu, untuk sistem *photovoltaic array* menghasilkan daya sebesar 8,4 kW dengan jumlah modul surya sebanyak 84 modul dan jumlah *battery* 6 V 1.091 Ah yang dibutuhkan sebanyak 8 unit serta *bidirectional converter* dengan total kapasitas sebesar 10 kW, berjumlah 2 unit. Hasil simulasi HOMER menunjukkan bahwa penentuan konfigurasi desain sistem PLTH yang paling optimal untuk diterapkan di Kampung Bayang Janiah berdasarkan *Total NPC* terendah adalah integrasi antara *microhydro-photovoltaic array-battery bank-bidirectional converter*. Pada konfigurasi sistem yang optimal tersebut, kontribusi *microhydro* sebesar 78.945 kWh/yr, *photovoltaic array* sebesar 11.404 kWh/yr, dengan *Total NPC* sebesar \$ 146.041, *Levelized COE* sebesar \$ 0,525/kWh, sedangkan untuk konsumsi energi listrik per tahun sebesar 30.668 kWh dan memiliki kelebihan energinya sebesar 59.608 kWh/yr, sehingga dapat memenuhi kebutuhan listrik rumah tangga sebanyak 56 kk termasuk juga sarana sosial yang ada di kampung tersebut.

Kata Kunci : PLTH *Off-Grid Microhydro-Photovoltaic Array*, Optimisasi Desain, Simulasi, HOMER, *Total NPC*, *Levelized COE*

Abstract—In this study discusses the optimization of the design and analysis of engineering economics Hybrid Power Plant Off-Grid Microhydro - Photovoltaic Array with the help of software HOMER 2 version 2.81. Utilization of Hybrid Power Plant System can overcome the electrical problems in Bayang Janiah village, Nagari Koto Ranah, Bayang Utara Subdistrict, Pesisir Selatan District that is far from the reach of the grid and can improve the reliability of electricity economically in which initially operated only 12 hours/day sourced from microhydro power plant only, can be upgraded to full operation 24 hours/day. From the analysis that has been conducted, obtained monthly discharge of Bayang Janiah river availability using dependable discharge F. J. Mock 90% of 102 L/s to 14 m of effective head is able to move the hydro turbine to produce power of about 11,3 kW. Meanwhile, for an array of photovoltaic systems produce power equal to 8.4 kW with a number of solar modules by 84 modules and the number of battery 6 V 1.091 Ah required 8 units and a bidirectional converter with a total capacity of 10 kW, totaling 2 units. HOMER simulation results show that the determination of the configuration of the hybrid power plant system design most optimal for application in Bayang Janiah village lowest *Total NPC* is based on the integration between microhydro - photovoltaic array - battery bank - bidirectional converter. On the optimal system configuration, microhydro contribution of 78.945 kWh/yr, a photovoltaic array of 11.404 kWh/yr, with a *Total NPC* of \$ 146.041, *Levelized COE* of \$ 0,525/kWh, while the electrical energy consumption of 30.668 kWh per year and has excess energy of 59.608 kWh/yr, so it can meet the needs of household electricity to 56 households as well as social facilities in the village.

Keywords : *Off-Grid Hybrid Power System Microhydro-Photovoltaic Array*, Optimization Design, Simulation, HOMER, *Total NPC*, *Levelized COE*

I. PENDAHULUAN

Sesuai dengan Peraturan Presiden RI no. 5 tahun 2006 tentang Kebijakan Energi Nasional (KEN) yaitu pangsa pasar energi baru dan terbarukan dalam konsumsi energi nasional tahun 2025 ditargetkan mencapai 17%[1]. Namun demikian pemerintah Indonesia ingin mencapai target yang lebih tinggi dengan mencanangkan visi energi 25/25, dimana pemerintah berkomitmen meningkatkan penggunaan energi baru dan terbarukan sampai 25% dari keseluruhan konsumsi energi pada tahun 2025 dan juga tercapainya elastisitas energi lebih kecil dari satu[2].

Gambar 1. Grafik Arah Kebijakan Energi Nasional[2]

Di Indonesia terutama Provinsi Sumatera Barat, masih banyak pedesaan terpencil yang belum terlistriki karena tidak terjangkau oleh jaringan listrik PLN. Ini terbukti masih terdapatnya beberapa kabupaten di Sumatera Barat yang memiliki ratio elektrifikasi (RE) di bawah 66%[4]. Namun demikian ratio elektrifikasi untuk Provinsi Sumatera Barat sendiri berdasarkan data ratio elektrifikasi tahun 2013 sudah mencapai 75,76%[4],[5]. Walaupun beberapa kabupaten di Sumatera Barat memiliki ratio elektrifikasi di bawah 66%, tetapi kawasan pedesaan yang ada di kabupaten tersebut memiliki sumber energi terbarukan yang dapat dikembangkan sebagai sumber energi listrik alternatif[4].

Salah satu potensi sumber energi terbarukan yang cukup besar ketersediaannya di Sumatera Barat adalah energi air yang dapat dikelola untuk menjadi Pembangkit Listrik Tenaga Mikrohidro[4]. Pembangkit Listrik Tenaga Mikrohidro tersebut berperan serta dalam melestarikan lingkungan, minimal di sepanjang Daerah Aliran Sungai (DAS) sumber air, ditengah menggebu-gebutnya pembalakan

hutan dan pembukaan kawasan perkebunan yang tidak ramah lingkungan.

Selain sumber energi air, potensi energi terbarukan yang cukup mudah dalam pemanfaatannya dan ketersediaannya yaitu energi surya. Wilayah Indonesia terletak di garis khatulistiwa, sehingga memperoleh penyinaran matahari rata-rata 8 jam/hari dengan intensitas radiasi matahari rata-rata sekitar 4,80 kWh/m²/hari[3]. Sumber energi surya ini dapat dikembangkan menjadi Pembangkit Listrik Tenaga Sel Surya yang merupakan salah satu solusi yang dapat dipertimbangkan sebagai salah satu pembangkit listrik alternatif[8]. Pemanfaatan sumber energi surya tersebut untuk kelistrikan belum secara optimal, baru sekitar 42,78 MW[2]. Sayangnya biaya investasi Pembangkit Listrik Tenaga Sel Surya masih lebih mahal apabila dibandingkan dengan biaya investasi pembangkit listrik berbahan bakar fosil, karena sampai saat ini photovoltaic cell yang berfungsi untuk mengkonversi energi matahari menjadi energi listrik, masih diimpor dari negara lain dan efisiensi dari photovoltaic module hanya sebesar 17% yang menyebabkan harga Pembangkit Listrik Tenaga Sel Surya tiap kiloWatt-nya masih sangat tinggi[8].

Teknologi Pembangkit Listrik Tenaga Sel Surya termasuk teknologi yang ramah lingkungan karena tidak melepaskan polutan seperti halnya pembangkit listrik berbahan bakar fosil dan tidak menghasilkan noise (kebisingan)[6],[8]. Untuk kekontinuan ketersediaan listrik dan pemanfaatan energi listrik sel surya (solar photovoltaic) secara maksimal terutama di daerah-daerah terpencil, maka sangat diperlukan sistem hibridisasi.

Sistem Pembangkit Listrik Tenaga Hibrid merupakan salah satu solusi untuk mengatasi krisis energi listrik yang terjadi saat ini. Penggabungan sumber energi mikrohidro dengan energi sel surya (solar photovoltaic) dapat meningkatkan waktu layanan listrik secara ekonomis sehingga beban listrik masyarakat daerah terpencil dapat dipenuhi secara optimal[12]. Adapun kendala utama yang dihadapi dalam pemanfaatan pembangkit listrik tenaga hibrid ini adalah efisiensi energi listrik yang dihasilkan sistem sangat dipengaruhi oleh kondisi lingkungan.

Untuk mengetahui kelayakan potensi Pembangkit Listrik Tenaga Hibrid di Provinsi Sumatera Barat khususnya di Kabupaten Pesisir

Selatan, maka dilakukan penelitian mengenai optimisasi sistem yang ekonomis dari Pembangkit Listrik Tenaga Hibrid *Microhydro-Photovoltaic Array* dengan melakukan desain pemodelan menggunakan bantuan perangkat lunak HOMER, dimana ketentuannya berdasarkan *Total NPC* terendah. Kabupaten Pesisir Selatan merupakan salah satu kabupaten yang memiliki ratio elektrifikasi yang rendah yaitu sebesar 61,68% berdasarkan data ratio elektrifikasi tahun 2013[5]. Diharapkan dari hasil penelitian ini dapat digunakan sebagai acuan dalam menentukan kelayakan dan pengoptimalan pembangkit listrik alternatif dengan sumber energi terbarukan tersebut sehingga dapat memberikan kontribusi yang signifikan terhadap kebutuhan energi listrik daerah-daerah terpencil/pedesaan di Kabupaten Pesisir Selatan, seperti di Kampung Bayang Janiah, Nagari Koto Ranah, Kecamatan Bayang Utara yang jauh dari jangkauan jaringan listrik PLN. Ke depannya diharapkan dapat meningkatkan keandalan secara ekonomis dimana awalnya listrik beroperasi hanya 12 jam per hari yang bersumber dari PLTMH saja, dapat ditingkatkan menjadi beroperasi penuh selama 24 jam per hari.

II. TINJAUAN PUSTAKA

2.1. Pembangkit Listrik Tenaga Hibrid

Pembangkit Listrik Tenaga Hibrid (PLTH) didefinisikan sebagai suatu sistem pembangkit tenaga listrik yang menggabungkan dua atau lebih pembangkit dengan sumber energi yang berbeda, umumnya digunakan untuk *isolated grid*, sehingga diperoleh sinergi yang memberikan keuntungan ekonomis maupun teknis[12].

Beberapa kelebihan yang dapat diperoleh dari konfigurasi sistem Pembangkit Listrik Tenaga Hibrid ini adalah sebagai berikut[12]:

- Solusi untuk mengatasi krisis bahan bakar minyak bumi
- Beban listrik dapat dipenuhi secara optimal terutama di daerah-daerah terpencil/pedesaan yang jauh dari jangkauan jaringan listrik PLN
- Meningkatkan efisiensi ekonomi pembangkit
- Meningkatkan keandalan (*reliability*) sistem pembangkit
- Meningkatkan waktu layanan listrik secara ekonomis
- Meningkatkan umur operasi sistem

- Tidak menimbulkan polusi dan limbah (ramah lingkungan)
- Biaya pengoperasian dan pemeliharaannya relatif murah
- Biaya produksi energi listrik atau *Cost of Energy* (Rp/kWh) per tahun relatif murah.

Disamping kelebihan-kelebihan di atas konfigurasi sistem Pembangkit Listrik Tenaga Hibrid tersebut juga mempunyai beberapa kekurangan, diantaranya[13],[14]:

- Produksi energi baru dan terbarukan sangat tergantung pada siklus alam
- Biaya investasi awal sistem ini lebih mahal
- Tidak dapat menangani beban puncak dengan baik tanpa penyimpanan energi.

Adapun konfigurasi dasar dari sistem Pembangkit Listrik Tenaga Hibrid tersebut dapat dikelompokkan menjadi tiga yakni [15]:

- Sistem hibrid seri
- Sistem hibrid paralel
- Sistem hibrid *switched*.

Dalam penelitian ini, konfigurasi sistem hibrid yang digunakan adalah kombinasi sistem hibrid *switched*. Skema dari pembangkit listrik tenaga *hibrid microhydro-photovoltaic array* tersebut dapat dilihat pada gambar berikut ini.

Gambar 2. Skema PLTH *Microhydro-Photovoltaic Array*

2.2. HOMER

HOMER (*Hybrid Optimization Model for Energy Renewable*) merupakan suatu perangkat lunak (program) simulasi yang mengoptimalkan sistem pembangkit tenaga listrik, baik *off-grid (stand-alone)* maupun *grid-connected* yang dapat terdiri atas kombinasi *photovoltaic*, mikrohidro, *battery* dan kombinasi sumber energi baru dan terbarukan lainnya serta untuk

melayani beban listrik maupun beban *thermal*[16].

Perangkat lunak HOMER ini dikembangkan oleh The National Renewable Energy Laboratory (NREL), USA yang bekerjasama dengan Mistaya Engineering, dimana hak ciptanya dilindungi oleh Midwest Research Institute (MRI) dan digunakan oleh Departemen Energi Amerika Serikat (DOE)[17].

HOMER memiliki beberapa keunggulan dibandingkan dengan perangkat lunak yang serupa lainnya, yakni[16]:

- Dapat mengetahui hasil yang optimal dari konfigurasi sistem (mensimulasikan beberapa konfigurasi sistem berdasarkan *Net Present Cost*)
- Dapat menunjukkan analisis nilai sensitivitas
- Dapat memodelkan sistem jaringan transmisi listrik
- Komponen-komponen sistem hibrid yang akan digunakan lengkap
- Dapat memodelkan sumber energi baru dan terbarukan yang tersedia
- Parameter-parameter *input* sangat terperinci, seperti: sumber energi baru dan terbarukan, faktor ekonomi, emisi, *constraints* dan lain-lain.

Arsitektur perangkat lunak HOMER memiliki tiga bagian utama, yaitu: *input*, simulasi dan *output* seperti yang dapat dilihat pada skema di bawah ini.

Gambar 3. Arsitektur Simulasi dan Optimasi HOMER[12],[15]

III. METODOLOGI PENELITIAN

Langkah-langkah mendesain sistem Pembangkit Listrik Tenaga Hibrid *Microhydro*

–*Photovoltaic Array* dengan perangkat lunak HOMER ini, membutuhkan beberapa data yang mana data-data tersebut terlebih dahulu dianalisa secara matematis, seperti yang dapat ditunjukkan dalam diagram alir penelitian berikut ini.

Adapun komponen-komponen dari sistem Pembangkit Listrik Tenaga Hibrid *Microhydro-Photovoltaic Array* untuk melayani beban listrik masyarakat Kampung Bayang Jariah yang diinputkan ke dalam perangkat lunak HOMER, seperti yang dapat dilihat pada gambar berikut ini.

Gambar 4. Komponen-komponen *Input* PLTH *Microhydro-Photovoltaic Array*

Pada penelitian ini, pemodelan sistem Pembangkit Listrik Tenaga Hibrid *off-grid* berdasarkan potensi energi terbarukan yang tersedia di Kampung Bayang Janiah. Pemodelan sistem hibrid tersebut terdiri atas: *hydro turbine*, modul *photovoltaic* dan juga didukung oleh *battery* sebagai media penyimpanan energi. Data dari berbagai parameter seperti: potensi sumber energi air dan energi matahari, profil pemakaian beban listrik oleh masyarakat serta keterangan komponen dari berbagai parameter, yakni: ukuran, jumlah dan biaya dari *hydro turbine*, modul *photovoltaic*, *battery*, *converter*, yang telah diperoleh dari berbagai sumber untuk diinputkan ke dalam skema perencanaan sistem Pembangkit Listrik Tenaga Hibrid *off-grid*.

Gambar 5. Sistem Pembangkit Listrik Tenaga Hibrid *Off-Grid Microhydro – Photovoltaic Array*

Beban puncak siang hari terjadi antara pukul 09.00 – 12.00 WIB sebesar 4,569 kW, dimana beban AC sangat mendominasi. Sementara itu untuk beban puncak malam hari terjadi antara pukul 19.00 – 20.00 WIB sebesar 8,060 kW, dimana beban listrik didominasi oleh beban AC dan lampu penerangan. Pada saat *weekdays*, konsumsi rata-rata energi listrik sebesar 89 kWh/day.

Tabel 1. Pemakaian Beban Listrik *Weekdays*

Kampung Bayang Janiah

Hour	Load (kW)
00:00 - 01:00	3.030
01:00 - 02:00	3.030
02:00 - 03:00	3.030
03:00 - 04:00	3.030
04:00 - 05:00	3.110
05:00 - 06:00	3.130
06:00 - 07:00	1.790
07:00 - 08:00	0.080
08:00 - 09:00	3.560
09:00 - 10:00	4.569
10:00 - 11:00	4.569
11:00 - 12:00	4.569
12:00 - 13:00	3.144
13:00 - 14:00	4.484
14:00 - 15:00	3.910
15:00 - 16:00	3.970
16:00 - 17:00	3.560
17:00 - 18:00	1.790
18:00 - 19:00	3.130
19:00 - 20:00	8.060
20:00 - 21:00	6.830
21:00 - 22:00	6.830
22:00 - 23:00	3.030
23:00 - 00:00	3.030

Gambar 6. Profil Beban Listrik *Weekdays* Kampung Bayang Janiah

Tabel 2. Sistem Beban Listrik *Weekdays*

	Baseline	Scaled
Average (kWh/d)	89.0	89.0
Average (kW)	3.71	3.71
Peak (kW)	9.86	6.54
Load factor	0.567	0.567

Untuk PLTMH memanfaatkan potensi sungai Bayang Janiah. Sungai Bayang Janiah terletak pada koordinat $01^{\circ}07'56''\text{LS}$ – $100^{\circ}36'06,4''\text{BT}$ dan merupakan salah satu sub DAS dari Batang Bayang. Pemetaan DAS Batang Bayang menggunakan *software* MapInfo Professional 10.5[22], yang dapat dilihat pada gambar-gambar berikut.

Gambar 7. Peta DAS Batang Bayang[22]

Gambar 8. Peta Luas *Catchment Area* Bendungan PLTMH Bayang Janiah[22]

Hasil perhitungan debit andalan sub DAS Bayang Janiah yang diperlukan untuk kebutuhan PLTMH dapat dilihat pada tabel berikut:

Tabel 3. Persentase Keandalan Untuk Debit Desain PLTMH Bayang Janiah

Probabilitas Keandalan (%)	Q (m ³ /detik)
0	5.828
5	2.570
10	1.836
15	1.627
20	1.482
25	1.254
30	1.051
35	0.952
40	0.81
45	0.696
50	0.553
55	0.463

Tabel 4. Persentase Keandalan Untuk Debit Desain PLTMH Bayang Janiah (Lanjutan)

Probabilitas Keandalan (%)	Q (m ³ /detik)
60	0.396
65	0.334
70	0.249
75	0.199
80	0.166
85	0.127
86	0.119
87	0.119
88	0.112
89	0.103
90	0.102
95	0.08
100	0.012

Sedangkan bentuk kurva durasi debit (*Flow Duration Curve*)-nya adalah sebagai berikut:

Gambar 9. Kurva Persentase Durasi Debit (*Flow Duration Curve*)

Untuk *input* masing-masing komponen ke dalam perangkat lunak HOMER, dapat dilihat pada gambar berikut ini.

Hydro Inputs

HOMER models run-of-river hydro installations. Enter the capital cost, available head, and turbine design flow rate. For Economics values, include the civil works and all costs associated with the hydro system. HOMER calculates the nominal power from the available head, design flow rate, and efficiency.

Hold the pointer over an element or click Help for more information.

Economics

Capital cost (\$) 61027.6 (.)

Replacement cost (\$) 48822.1 (.)

O&M cost (\$/yr) 31.9055 (.)

Lifetime (years) 25 (.)

Turbine

Available head (m) 14 (.)

Design flow rate (L/s) 102 (.)

Minimum flow ratio (%) 70 (.)

Maximum flow ratio (%) 95 (.)

Efficiency (%) 81 (.)

Nominal power: 11.3 kW

Generator type ☒ AC ☐ DC

Intake pipe

Pipe head loss (%) 3.54 (.)

Pipe Head Loss Calculator...

Systems to consider

☒ Simulate systems both with and without the hydro turbine

☐ Include the hydro turbine in all simulated systems

Help Cancel OK

Gambar 10. Input Parameter Hydro Turbine

PV Inputs

Enter at least one size and capital cost value in the Costs table. Include all costs associated with the PV (photovoltaic) system, including modules, mounting hardware, and installation. As it searches for the optimal system, HOMER considers each PV array capacity in the Sizes to Consider table.

Note that by default, HOMER sets the slope value equal to the latitude from the Solar Resource Inputs window.

Hold the pointer over an element or click Help for more information.

Costs

Size (kW)	Capital (\$)	Replacement (\$)	O&M (\$/yr)
1.000	6050	5445	3

Sizes to consider

Size (kW)
0.000
8.400
8.800
9.200

Cost Curve

Cost (000 \$) vs Size (kW)

Properties

Output current ☐ AC ☒ DC

Lifetime (years) 20 (.)

Derating factor (%) 80 (.)

Slope (degrees) 15 (.)

Azimuth (degrees W of S) 180 (.)

Ground reflectance (%) 20 (.)

Advanced

Tracking system No Tracking

☒ Consider effect of temperature

Temperature coeff. of power (%/°C) -0.5 (.)

Nominal operating cell temp. (°C) 48 (.)

Efficiency at std. test conditions (%) 15.4 (.)

Help Cancel OK

Gambar 11. Input Parameter Modul Surya

Battery Inputs

Choose a battery type and enter at least one quantity and capital cost value in the Costs table. Include all costs associated with the battery bank, such as mounting hardware, installation, and labor. As it searches for the optimal system, HOMER considers each quantity in the Sizes to Consider table.

Hold the pointer over an element or click Help for more information.

Battery type Sunette 6CS25P Details... New... Delete

Battery properties

Manufacturer: Rolls/Sunette

Website: www.rollsbattery.com

Nominal voltage: 6 V

Nominal capacity: 1,156 Ah (6.94 kWh)

Lifetime throughput: 9,645 kWh

Costs

Quantity	Capital (\$)	Replacement (\$)	O&M (\$/yr)
1	1661	1495	0.87

Sizes to consider

Quantity
0
1

Cost Curve

Cost (000 \$) vs Quantity

Advanced

Batteries per string 8 (48 V bus)

☒ Minimum battery life (yr) 4 (.)

Help Cancel OK

Gambar 12. Input Parameter Battery

Gambar berikut memperlihatkan rincian spesifikasi teknik dari *battery* Rolls Surrette 6CS25P.

Gambar 13. Technical Data Battery Rolls Surrette 6CS25P[16]

Converter Inputs

A converter is required for systems in which DC components serve an AC load or vice-versa. A converter can be an inverter (DC to AC), rectifier (AC to DC), or both.

Enter at least one size and capital cost value in the Costs table. Include all costs associated with the converter, such as hardware and labor. As it searches for the optimal system, HOMER considers each converter capacity in the Sizes to Consider table. Note that all references to converter size or capacity refer to inverter capacity.

Hold the pointer over an element or click Help for more information.

Costs

Size (kW)	Capital (\$)	Replacement (\$)	O&M (\$/yr)
10.000	10437	10437	7

Sizes to consider

Size (kW)
0.000
10.000
11.000

Cost Curve

Cost (000 \$) vs Size (kW)

Inverter inputs

Lifetime (years) 15 (.)

Efficiency (%) 95 (.)

☒ Inverter can operate simultaneously with an AC generator

Rectifier inputs

Capacity relative to inverter (%) 100 (.)

Efficiency (%) 95 (.)

Help Cancel OK

Gambar 14. Input Parameter Bidirectional Converter

III. HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1. Optimization Results

Hasil simulasi dengan bantuan perangkat lunak HOMER memperlihatkan *optimization results* sebagai berikut:

Sensitivity Results Optimization Results

Sensitivity variables

Global Solar (W/m²/hr) 5.23 Average Ambient Temperature (°C) 27.3 Design Flow Rate (L/s) 102 Interest Rate (%) 10

Double click on a system below for simulation results

	PV (kW)	Hydro (kW)	6CS25P (Ah)	Conv. (kW)	Cap. (kW)	Initial Capital	Operating Cost (\$/yr)	Total NPV	COE (\$/kWh)	Ren. Pen. (Storage)	Capacity (Bat. L)
1	9.2	11.3	10	CC	\$127,125	745	\$133,884	0.481	1.00	0.07	
2	9.4	10.3	8	10	CC	\$135,570	1,163	\$146,741	0.526	1.00	0.07

Category: Overall Export Details

Gambar 15. Pilihan I

	PV (kW)	Hydro (kW)	Storage (kWh)	Controller (kW)	Initial Capital (\$)	Operating Cost (\$/yr)	Total NPC (\$)	COE (\$/kWh)	Renewable Fraction (%)	Capacity (kWh)	Net U (1/yr)
1	8.9	0	0	0	\$61,028	32	\$61,317	0.325	1.00	0.00	
2	8.9	8	10	0	\$84,753	720	\$91,360	0.484	1.00	0.00	12.0
3	8.4	8.9	10	0	\$122,285	704	\$128,677	0.601	1.00	0.00	
4	8.4	8.9	8	10	\$135,570	1,153	\$146,941	0.770	1.00	0.00	12.0

Gambar 16. Pilihan II

Apabila parameter *design flow rate* dan *annual real interest rate* ditingkatkan hingga mencapai nilai maksimum yang ditetapkan berdasarkan masing-masing *sensitivity values* yang diinputkan ke dalam HOMER, maka memberikan pengaruh terhadap sistem pembangkit listrik tenaga hibrid tersebut dimana *Operating Cost* (\$/yr) dan *Total NPC* (\$) yang semakin rendah sebaliknya *Levelized COE* (\$/kWh) yang semakin tinggi.

4.2. Sensitivity Results

Sensitivity results diperlihatkan melalui suatu grafik tipe sistem yang optimal, seperti pada gambar berikut:

Gambar 17. Sensitivity Results

Berdasarkan grafik pada gambar di atas, diketahui bahwa tipe sistem yang paling optimal dipilihkan HOMER yaitu:

- Sistem hibrid *microhydro-photovoltaic array-battery*, dimana sistem ini merupakan sistem pertama yang dipilihkan HOMER sebagai sistem yang paling optimal dengan posisi *global solar* berada di kisaran:
 - 4,80 – 5,09 kWh/m²/d dengan *ambient temperature* rata-rata berada di rentang 26,0°C – 27,4°C

- 4,80 – 5,20 kWh/m²/d dengan *ambient temperature* rata-rata berada di rentang 27,4°C – 31,0°C

- 4,80 – 5,23 kWh/m²/d dengan *ambient temperature* rata-rata berada di rentang 31,0°C – 32,0°C

- Sistem hibrid *microhydro-photovoltaic array*, dimana sistem ini merupakan sistem kedua yang dipilihkan HOMER sebagai sistem yang paling optimal dengan posisi *global solar* berada di kisaran:

- 5,09 – 5,60 kWh/m²/d dengan *ambient temperature* rata-rata berada di rentang 26,0°C – 27,4°C

- 5,20 – 5,60 kWh/m²/d dengan *ambient temperature* rata-rata berada di rentang 27,4°C – 31,0°C

- 5,23 – 5,60 kWh/m²/d dengan *ambient temperature* rata-rata berada di rentang 31,0°C – 32,0°C

Seperti yang terlihat pada grafik (Gambar 17), untuk sistem hibrid *microhydro-photovoltaic array* ini dimana sebagian besar posisi *global solar* berada di atas rata-rata radiasi harian. Dengan posisi *global solar* di atas rata-rata radiasi harian tersebut maka *photovoltaic array* dapat menghasilkan kapasitas daya yang besar karena adanya penyerapan energi yang cukup besar oleh *photovoltaic array* sehingga dengan demikian pada sistem hibrid *microhydro-photovoltaic array* tersebut tidak diperlukan penggunaan *battery* sebagai *back-up* dalam melayani suplai listrik ke beban.

4.3. Electrical Simulation Results

Dari hasil optimisasi di atas maka diperoleh desain sistem pembangkit listrik tenaga hibrid yang paling optimal sehingga dengan demikian hasil simulasi bagian *electrical*-nya dapat diperlihatkan pada gambar berikut ini.

Gambar 18 Electrical Simulation Results

Grafik pada gambar berikut ini menunjukkan hasil simulasi gabungan komponen tiap jam pada tanggal 8 November. Dipilihnya tanggal 8 November karena kondisi dari *photovoltaic array* pada hari tersebut menghasilkan *output power* yang lebih rendah, sedangkan *output power* dari *microhydro* yang lebih tinggi dan persentase *state of charge* dari *battery bank*-nya berada dalam kondisi 100%. Seperti yang terlihat pada Gambar 19, dimana pada tanggal 8 November *output power* dari *photovoltaic array* lebih rendah dari beban listrik AC sehingga kebutuhan listrik untuk melayani beban listrik AC masyarakat Kampung Bayang Janiah disuplai oleh *microhydro system* maupun *battery bank*. Pengisian *battery bank* ini dapat juga dilakukan oleh *microhydro system*.

Gambar 19 Output Sistem Pembangkit Listrik Tenaga Hibrid Off-Grid Microhydro-Photovoltaic array

IV. KESIMPULAN

Setelah dilakukan simulasi optimisasi desain Pembangkit Listrik Tenaga Hibrid *off-grid Microhydro – Photovoltaic Array* dengan menggunakan bantuan perangkat lunak HOMER 2 versi 2.81, maka dapat ditarik beberapa kesimpulan sebagai berikut:

1. Sistem Pembangkit Listrik Tenaga Hibrid yang paling optimal dalam mensuplai listrik untuk masyarakat Kampung Bayang Janiah, Nagari Koto Ranah, Kecamatan Bayang Utara yaitu kombinasi *microhydro – photovoltaic array – battery – converter*, dengan rinciannya sebagai berikut: 1 unit *hydro turbine* yang digerakkan dengan debit desain air sungai sebesar 102 liter/detik dan *head* efektif-nya 14 meter menghasilkan kapasitas 11,3 kW, *photovoltaic array* berkapasitas 8,4 kW, 8 unit *battery* 6 V 1.091 Ah dan 10 kW *bidirectional converter*. Konfigurasi tersebut ditetapkan sebagai yang paling optimal berdasarkan nilai *Total NPC* terendah yaitu sebesar \$ 146.041 dan *Levelized COE* sebesar \$ 0,525/kWh dengan *Initial Capital* yang diperlukan untuk merealisasikan sistem Pembangkit Listrik Tenaga Hibrid *Microhydro – Photovoltaic Array* tersebut adalah sebesar \$ 135.573.
2. Hasil simulasi dari optimisasi desain sistem hibrid *microhydro* dengan *photovoltaic array* ini menunjukkan bahwa kontribusi energi listrik yang diproduksi oleh *microhydro* sebesar 78.945 kWh/yr (87%) dan energi listrik yang diproduksi oleh *photovoltaic array* sebesar 11.404 kWh/yr (13%), sehingga dengan kontribusi total sebesar 100% tersebut dapat melayani kebutuhan energi listrik harian masyarakat Kampung Bayang Janiah sebesar 88,692 kWh dan kebutuhan energi listrik per tahunnya sebesar 30.668 kWh. Ditinjau dari segi keandalan sistem hibridnya masih terjaga melihat *capacity shortage* per tahun yang dihasilkan oleh sistem dalam kisaran 7 – 8 %
3. Dengan diimplementasikannya sistem Pembangkit Listrik Tenaga Hibrid *Microhydro-Photovoltaic Array* di Kampung Bayang Janiah, Nagari Koto Ranah, Kecamatan Bayang Utara,

Kabupaten Pesisir Selatan maka pemukiman perumahan yang dihuni oleh sebanyak 56 kepala keluarga termasuk juga sarana sosialnya dapat menikmati listrik selama 24 jam, dimana sebelumnya masyarakat setempat hanya menikmati listrik dari pukul 18.00 – 06.00 WIB yang bersumber dari PLTMH saja. Disamping itu, keuntungan lainnya dapat mengeliminasi ketergantungan terhadap bahan bakar minyak bumi dalam pembangkitan energi listrik sehingga berdampak terhadap berkurangnya pencemaran udara akibat emisi CO₂.

V. DAFTAR PUSTAKA

- [1] Peraturan Presiden Republik Indonesia No. 5 Tahun 2006 tentang Kebijakan Energi Nasional, 25 Januari 2006.
- [2] Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral. (2013, Februari 8). Indonesia Energy Outlook 2012 [Online]. Available: <http://www.esdm.go.id/publikasi/indonesia-energy-outlook.html>
- [3] Sitompul, Rislina, *Manual Pelatihan Teknologi Energi Terbarukan yang Tepat Untuk Aplikasi di Masyarakat Pedesaan*. Jakarta : PNPM Support Facility (PSF), 2011, hal.45-75, 175-255.
- [4] Dinas ESDM Provinsi Sumatera Barat. Daftar Daerah yang Menerima Bantuan Penerangan Listrik Energi Baru Terbarukan Provinsi Sumatera Barat Tahun 2013
- [5] PT. PLN (Persero) Wilayah Sumatera Barat. (2013, September 7). Road Map Lisdas Wilayah Sumatera Barat 2012 – 2017 [Online]. Available: <http://www.pln.co.id/sumbar>
- [6] Bhandari, Binayak dkk., "Mathematical Modeling of Hybrid Renewable Energy System : A Review on Small Hydro-Solar-Wind Power Generation", *International Journal of Precision Engineering and Manufacturing-Green Technology*, vol. 1, no. 2, hal. 157-173, April 2014.
- [7] IMIDAP (Integrated Microhydro Development and Application Program), *Pedoman Studi Kelayakan PLTMH*. cetakan kedua, Jakarta : Direktorat Jenderal Listrik dan Pemanfaatan Energi Departemen Energi dan Sumber Daya Mineral, 2009.
- [8] Effendi, Asnal, "Pembangkit Listrik Sel Surya Pada Daerah Pedesaan", *Jurnal Teknik Elektro ITP*, vol. 1, no. 1, hal. 19-24, Januari 2011.
- [9] (2013, Maret 15). [Online]. Available: <http://www.solarsuryaindonesia.com>
- [10] Ashok, S., "Optimised Model for Community-Based Hybrid Energy System", *Jurnal Elsevier*, vol. 32, hal. 1155-1164, 2007.
- [11] Tanoto, Y., dkk., "Off-Grid Fully Renewable Energy with Free Capacity Shortage for Remote Electrification", *Proc. IEEE*, hal. 460-464, 3-4 Juni 2013.
- [12] Kunaifi, "Program HOMER Untuk Studi Kelayakan Pembangkit Listrik Hibrida Di Propinsi Riau", *Seminar Nasional Informatika*, FTI UPN "Veteran" Yogyakarta, 2010, hal. 18-27.
- [13] Juwito, A. F., dkk., "Optimalisasi Energi Terbarukan pada Pembangkit Tenaga Listrik dalam Menghadapi Desa Mandiri Energi di Margajaya", *Jurnal Ilmiah Semesta Teknika*, vol. 15, no. 1, hal. 22-34, Mei 2012.
- [14] Maherchandani, J. K., dkk., "Economic Feasibility of Hybrid Biomass/PV/Wind System for Remote Villages Using HOMER", *International Journal of Advanced Research in Electrical, Electronics and Instrumentation Engineering*, ISSN: 2278-8875, vol. 1, issue 2, hal. 49-53, Agustus 2012.
- [15] Fung, C. C., dkk., "A Simulation Study on The Economic Aspects of Hybrid Energy Systems for Remote Islands in Thailand", *Proc. IEEE*, vol. 3, no. 3, hal. 1966-1969, 28-31 Oktober 2002.
- [16] National Renewable Energy Laboratory, USA. (2012, November 28). Homer Energy Modelling Software for Hybrid Renewable Energy System [Online]. Available: <http://www.homerenergy.com>
- [17] Lambert, Tom, dkk., "Micropower System Modeling with HOMER", *Integration of Alternative Sources of Energy*, United States of America : John Wiley & Sons Inc., April 2006, bab 15, hal. 379-418.
- [18] Akella, A. K., dkk., "Optimum Utilization of Renewable Energy Sources in a Remote

- Area", *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, vol. 11, hal. 894-908, 2007.
- [19] Badan Pusat Statistik Kabupaten Pesisir Selatan. (2014, Januari 1). Kecamatan Bayang Utara Dalam Angka Tahun 2013 [Online]. Available: <http://pesselkab.bps.go.id>
- [20] Badan Pusat Statistik Kabupaten Pesisir Selatan. (2012, Desember 10). Buku Putih Sanitasi (BPS) Kabupaten Pesisir Selatan Tahun 2010 [Online]. Available: <http://pesselkab.bps.go.id>
- [21] Bank Indonesia (2013, Desember 9). Kurs Transaksi Bank Indonesia [Online]. Available: <http://www.bi.go.id>
- [22] Dinas PU PSDA Provinsi Sumatera Barat. MapInfo Sub DAS Bayang Janiah
- [23] Dinas PU PSDA Provinsi Sumatera Barat. Data Curah Hujan Harian Stasiun Ladang Padi, Stasiun Danau Di Atas dan Stasiun Tarusan Tahun 1997-2011
- [24] Dinas PU PSDA Provinsi Sumatera Barat. Data Klimatologi Harian Stasiun Gunung Nago, Stasiun Danau Di Atas dan Stasiun Surantih Tahun 2010
- [25] Dinas ESDM Painan Kabupaten Pesisir Selatan. Kecamatan, Nagari dan Kampung yang Belum Mendapatkan Penerangan Listrik Kabupaten Pesisir Selatan Tahun 2013
- [26] Nazir, R., dkk., "Renewable Energy Sources Optimization: A Micro-Grid Model Design", *Energy Procedia*, vol. 52, hal. 316-327, 2014.

Biodata Penulis

Novi Kurniasih, lahir di Padang tanggal 8 November 1980. Pendidikan S1 di Jurusan Teknik Elektro Universitas Bung Hatta Padang pada tahun 1999. Pendidikan S2 (Magister) di Jurusan Teknik Elektro Universitas Andalas dengan Bidang Peminatan Teknik Tenaga Elektrik.