

DESAIN SISTEM PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA *HYBRID MICROHYDRO PV ARRAY* (STUDI KASUS DUSUN SADAP BANGKA TENGAH)

Rizki Malindo@Akie Iskandar

akieiskandar93@gmail.com

Teknik Elektro, Universitas Bangka
Belitung, Pangkalpinang, Indonesia

Wahri Sunanda

wahrisunanda@gmail.com

Teknik Elektro, Universitas Bangka
Belitung, Pangkalpinang, Indonesia

Rika Favoria Gusa

rika_favoria@yahoo.com

Teknik Elektro, Universitas Bangka
Belitung, Pangkalpinang, Indonesia

Abstrak

Untuk melayani kebutuhan listrik, penduduk dusun Sadap mengandalkan PLTMH berukuran 40 kW yang dibangun dengan dana APBN pada tahun 2007. Daya rata-rata perhari dusun Sadap adalah sebesar 722,78 Watt/kepala keluarga. Dari analisis yang telah dilakukan, hasil pemodelan untuk sistem dengan beban listrik harian sebesar 130.1 kWh dengan NPC terendah berdasarkan hasil simulasi adalah sebagai berikut: 1 unit mikrohidro dengan kapasitas 19 kW, *photovoltaic array* dengan total kapasitas 4 kW, 48 unit baterai 12 Volt 83,3 Ah, dan 6 kW *bidirectional converter*. Kontribusi energi listrik yang diproduksi mikrohidro sebesar 155.775 kWh/yr atau sekitar 96.78% dan energi listrik yang diproduksi oleh *photovoltaic array* adalah sebesar 5.179 kWh/yr atau sekitar 3.22%, sehingga dengan kontribusi total kedua pembangkit ketika 100% adalah sebesar 160.954 kWh/yr. Konfigurasi pembangkit listrik tenaga hibrid ditetapkan sebagai yang paling optimal berdasarkan nilai *total NPC* terendah yaitu sebesar Rp 938.310.656,00 dan *levelized COE* sebesar Rp 1.528,500/kWh dengan *initial capital* yang diperlukan untuk merealisasikan sistem pembangkit listrik *hybrid* ini sebesar Rp 403.968.000,00.

Kata Kunci : pembangkit listrik tenaga hibrid, mikrohidro, *photovoltaic array*.

Abstract

To serve the needs of electricity, villagers rely on microhydro renewable energy with 40kW capacity, which was built with APBN budget funds in 2007. Average power per day of Sadap amounted to 722.78 Watts/KK. From the analysis that has been done, the results of modeling for system with daily load of 130.1kWh with the lowest NPC based on simulation results are as follows: 1 microhydro power unit 19kW, *photovoltaic array* with a total capacity of 4kW, 48 units of 12 Volt 83.3 Ah battery, and 6kW of *bidirectional converter*. Contribution of microhydro electric energy produced amounted to 155.775kWh/yr, or about 96,78% and the electrical energy produced by the *photovoltaic array* is equal to 5.179kWh/yr, or about 3,22%, so that the total contribution of both plants when 100% is equal to 160.954kWh/yr. The configuration is set as the most optimal based on the lowest NPC total is Rp.938.310.656,00 and *levelized COE*

is Rp1.528,500/kWh with an initial capital required for the realization of this hybrid power generation system is Rp.403.968.000,00.

Keywords: hybrid power plants, microhydro, photovoltaic array.

I. PENDAHULUAN

Sadap adalah dusun yang berada di desa Perlang, kecamatan Lubuk Besar, kabupaten Bangka Tengah, provinsi Kepulauan Bangka Belitung, Indonesia. Secara geografis, dusun Sadap terletak antara 2°36'04" – 2°36'47"LS dan 106°30'53" – 106°31'29"BT. Dusun Sadap memiliki luas ±2.155,77 km² yang memiliki sekitar 180 kepala keluarga dan mayoritasnya adalah petani dan buruh. Sumber air di dusun Sadap dengan ketinggian berkisar 50 meter dpl (di atas permukaan laut) sangat cocok dengan PLTMH yang telah dibangun di desa Sadap ini dengan ketinggian lokasi PLTMH adalah 70 meter dpl. Untuk melayani kebutuhan listrik, penduduk dusun Sadap mengandalkan PLTMH berukuran 40 kW beroperasi selama 24 jam, yang mana dibangun dengan dana APBN pada tahun 2007. Konsumsi daya rata-rata perhari untuk tiap kepala keluarga di dusun Sadap sebesar 722,78 Watt/ dengan peralatan listrik yang digunakan sebagian besarnya adalah lampu dan TV.

Pemanfaatan sumber energi terbarukan khususnya energi surya sebagai pembangkit listrik memiliki potensi yang sangat besar, karena letak Indonesia yang berada di daerah tropis, dimana matahari bersinar sepanjang waktu. Sumber energi terbarukan menawarkan alternatif persediaan energi listrik di daerah-daerah terpencil dan ramah lingkungan. Dusun Sadap ini merupakan daerah yang memiliki intensitas cahaya matahari yang cukup tinggi, berdasarkan data badan antariksa Amerika Serikat (NASA) yaitu sebesar 4,54 kWh/m²/hari. Pola hunian penduduk yang terpusat di desa ini maka desa ini berpotensi untuk dipasangkan *photovoltaic array* sebagai pembangkit listrik

tambahan yang bersumber dari energi terbarukan sebagai pasokan energi tambahan.

II. DASAR TEORI

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. Konfigurasi dasar dari sistem pembangkit listrik tenaga hibrid tersebut dapat dikelompokkan menjadi tiga yaitu :

- a. Sistem *hybrid* seri
- b. Sistem *hybrid* paralel
- c. Sistem *hybrid switched*

2.2 Mikrohidro

Mikrohidro atau dimaksud dengan pembangkit listrik tenaga mikrohidro (PLTMH), adalah suatu pembangkit listrik skala kecil yang menggunakan tenaga air sebagai tenaga penggerakannya seperti saluran irigasi sungai atau air terjun alam dengan cara memanfaatkan tinggi terjunan (*head*) dan jumlah debit air. Mikrohidro mendapatkan energi dari aliran air yang memiliki perbedaan ketinggian tertentu. Pada dasarnya, mikrohidro memanfaatkan energi potensial jatuhnya air (*head*). Semakin tinggi jatuhnya air maka semakin besar energi potensial air yang dapat diubah menjadi energi listrik. Disamping faktor geografis (tata letak sungai), tinggi jatuhnya air dapat pula diperoleh dengan membendung aliran air sehingga permukaan air menjadi tinggi. Air dialirkan melalui sebuah pipa pesat ke dalam rumah pembangkit yang pada umumnya dibangun dibagian tepi sungai untuk menggerakkan turbin atau kincir air mikrohidro. Energi mekanik yang berasal dari putaran poros turbin akan diubah menjadi energi listrik oleh sebuah generator. Untuk perhitungan keluaran daya *output* dari *hydro turbine* dalam perangkat lunak HOMER menggunakan persamaan:

$$P_{\text{hidro}} = \frac{\rho \cdot g \cdot Q \cdot H_{\text{eff}} \cdot \eta_{\text{hidro}}}{1000 \text{ W/kW}} \quad (1)$$

Keterangan :

- P_{hidro} = daya *output hydro turbine* (kW)
- η_{hidro} = efisiensi *hydro turbine* (%)
- g = kecepatan gravitasi (9,81 m/s²)
- H_{eff} = *effective head* (m)
- Q_{hidro} = debit air *hydro turbine* (m³/s)

20 2.3 Photovoltaic Array

Photovoltaic array atau panel surya adalah alat untuk mengkonversi tenaga matahari menjadi energi listrik. *Photovoltaic* adalah teknologi yang berfungsi untuk

mengubah atau mengkonversi radiasi matahari menjadi energi listrik secara langsung. PV biasanya dikemas dalam sebuah unit yang disebut modul. Dalam sebuah modul surya terdiri dari banyak sel surya yang bisa disusun secara seri maupun paralel. Sedangkan yang dimaksud dengan surya adalah sebuah elemen semikonduktor yang dapat mengkonversi energi surya menjadi energi listrik atas dasar efek fotovoltaik. Total energi yang dihasilkan dari PV *array* tergantung dari jumlah solar panel yang dipasang atau *total watt peak module* dan intensitas matahari (*kW/m²/day*) di tempat yang akan dipasang. Untuk penentuan besar kapasitas terpasang yang dibangkitkan oleh PV maka digunakan persamaan-persamaan berikut ini :

Luas area *photovoltaic array*

$$\text{Area array} = \frac{E_c}{G_{\text{AV}} \cdot \eta_{\text{PV}} \cdot \eta_{\text{array}}} \quad (2)$$

Daya yang dibangkitkan *photovoltaic array*

$$P \text{ Watt Peak} = \text{Area array} \cdot \text{PSI} \cdot \eta_{\text{PV}} \quad (3)$$

Jumlah modul surya yang dibutuhkan

$$\text{Jumlah modul surya} = \frac{P_{\text{watt peak}}}{P_{\text{MPP}}} \quad (4)$$

Keterangan:

- E_c = pemakaian energi (kWh/hari)
- G_{AV} = insolasi harian rata – rata matahari (kWh/m²/hari)
- η_{PV} = efisiensi modul surya (%)
- TCF = *Temperature Cost Factor*
- η_{output} = efisiensi *output* dari modul surya (%)
- PSI = *Peak Solar Insolation* adalah 1000 W/m²
- $P_{\text{watt peak}}$ = daya yang dibangkitkan (Wp)
- P_{MPP} = daya maksimum modul surya (W)

Untuk menghitung besar daya panel PV yang berkurang pada saat temperatur naik 1^oC sebagai berikut:

$$P_{\text{panel naik } 1^{\circ}\text{C}} = 0,5\% / ^{\circ}\text{C} \times P_{\text{MPP}} \times \text{kenaikan temperatur } (^{\circ}\text{C}) \quad (5)$$

Daya keluaran maksimum panel PV pada saat temperatur naik jadi T^oC dari angka 25^oC maka dapat dihitung dengan rumus berikut :

$$P_{\text{MPP saat naik } T^{\circ}\text{C}} = P_{\text{MPP}} - P_{\text{panel naik } T^{\circ}\text{C}} \quad (6)$$

Faktor koreksi temperatur (*Temperature Correction Factor*, TCF) dapat dihitung sebagai berikut :

$$\text{TCF} = \frac{P_{\text{MPP saat naik } T^{\circ}\text{C}}}{P_{\text{MPP}}} \quad (7)$$

2.4 Baterai

Baterai adalah bagian dari pembangkit listrik tenaga hibrid yang fungsinya untuk menyimpan energi yang diperoleh dari solar panel dan turbin mikrohidro. Ukuran kapasitas baterai dinyatakan dengan satuan *Ampere-Hours* (Ah). Kapasitas (Ah) dari satu baterai dapat dihitung dengan menggunakan persamaan berikut :

$$\text{jumlah baterai} = \frac{E_{\text{baterai}}}{V_{\text{baterai}}} \quad (8)$$

Kapasitas baterai

$$Ah = \frac{E_{AC}}{V_{\text{system}}} \quad (9)$$

Kapasitas baterai yang melibatkan efisiensi kerja *inverter* Ah dg. Efisiensi kerja *inverter* = Kap. batt + [(100% - Eff. Inv) . Kap. batt] (10)

Kapasitas minimal baterai yang dibutuhkan

$$Ah_{\text{min}} = \frac{\text{jumlah energi listrik yang dibutuhkan}}{V_{\text{baterai}} \cdot \% DOD} \quad (11)$$

Keterangan :
 E_{AC} = kebutuhan energi listrik konsumen (Wh)
 V_{system} = tegangan sistem (V)
 V_{battery} = tegangan nominal *battery* (V)
 Ah = kapasitas *battery* (Ampere hour)
 $\% DOD$ = persentase tingkat kedalaman *discharge* maksimum yang dapat diberlakukan pada *battery*
 $T_{\text{renewable}}$ = suatu kondisi hari dimana jumlah hari yang diasumsikan terjadi hujan/mendung/tidak ada sinar matahari selama 3 hari berturut-turut.

2.5 *Bi-directional Converter*

Bi-Directional Converter, merupakan suatu alat yang digunakan untuk mengkonversikan sumber listrik DC 12, 24, 48 Volt yang dihasilkan dari sumber listrik seperti *photovoltaic modul* dan *battery*, menjadi sumber listrik AC (*inverter*) yang dapat dimanfaatkan sesuai spesifikasi peralatan elektrik (120 atau 240 V AC, 50 atau 60 Hz) atau setara dengan listrik PLN dan sebaliknya (*rectifier*) .

2.6 Software HOMER

HOMER (*Hybrid Optimization Model for Energy Renewable*) merupakan perangkat lunak simulasi yang mengoptimalkan sistem pembangkit tenaga listrik *off-grid* (*stand-alone*) maupun *grid-connected* yang dapat terdiri atas kombinasi *photovoltaic*, mikro hidro, *battery* dan kombinasi sumber energi baru dan terbarukan lainnya serta untuk melayani beban listrik maupun beban *thermal*. HOMER akan mengurutkan data hasil keluaran simulasi dan optimasi berdasar nilai NPC terendah. Total NPC dapat dihitung dengan menggunakan persamaan sebagai berikut ini :

$$C_{NPC} = \frac{C_{\text{modal}}}{CRF \cdot (R_{\text{disk}})^i} \quad (12)$$

Keterangan :
 C_{modal} = total biaya tahunan (\$/tahun)
 CRF = faktor penutupan modal
 i = suku bunga (%)
 R_{disk} = lama waktu suatu proyek
 Untuk menghitung COE, biaya produksi energi listrik tahunan dibagi dengan total energi listrik terpakai yang diproduksi, dengan persamaan sebagai berikut :

$$COE = \frac{C_{\text{modal}}}{E_{\text{grid}} + E_{\text{thermal}} + E_{\text{PV}}} \quad (13)$$

Keterangan :

- C_{modal} = biaya total sistem tahunan (\$/tahun)
- E_{thermal} = beban AC utama yang terpenuhi(kWh/tahun)
- E_{deferr} = beban *deferrable* yang terpenuhi (kWh/tahun)
- E_{grid} = total penjualan *grid* (kWh/tahun)

III. METODE PENELITIAN

Gambar 1 merupakan diagram alir penelitian dari penelitian yang dilakukan. Terdapat beberapa *input* yang harus ditentukan sebelum memulai simulasi. Setelah *input* dari mikrohidro, PV, baterai, konverter dan beban ditentukan, pemodelan sistem PLTH kombinasi antara mikrohidro dan PV yang akan dirancang . Sesuai dengan *input* yang dimasukkan, aplikasi ini akan bekerja dan mensimulasi untuk mendapatkan hasil dan biaya dari kombinasi antara PV dan PLTMH. Kemudian, pilih sistem dengan nilai NPC terendah yang terdapat di halaman *simulation results*.

IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

Sistem kelistrikan yang terdapat di dusun Sadap terdiri dari sistem pembangkit dan pendistribusian langsung pada pemukiman warga, kondisi kelistrikan dapat dilihat pada Tabel 1. Pemodelan sistem pembangkit listrik mikrohidro dilakukan untuk mengetahui seberapa besar biaya yang harus disiapkan dalam sistem selama pengoperasian pembangkit listrik mikrohidro dan sistem PLT *Hybrid* dengan menambahkan sistem *photovoltaic array*.

4.1 Pemodelan Sistem PLTH Mikrohidro dan *Photovoltaic Array*

Pada pemodelan sistem *hybrid* pembangkit listrik mikrohidro dan *photovoltaic array* khususnya *photovoltaic array* menggunakan PV panel bertipe *Monocrystalline* berkapasitas 200 Wp dengan mempertimbangkan harga modal yang menguntungkan sehingga biaya investasi yang dikeluarkan lebih kecil. Data parameter PV dan harga komponen yang mendukung dalam pemodelan sistem hibrid dapat dilihat pada Tabel 2.

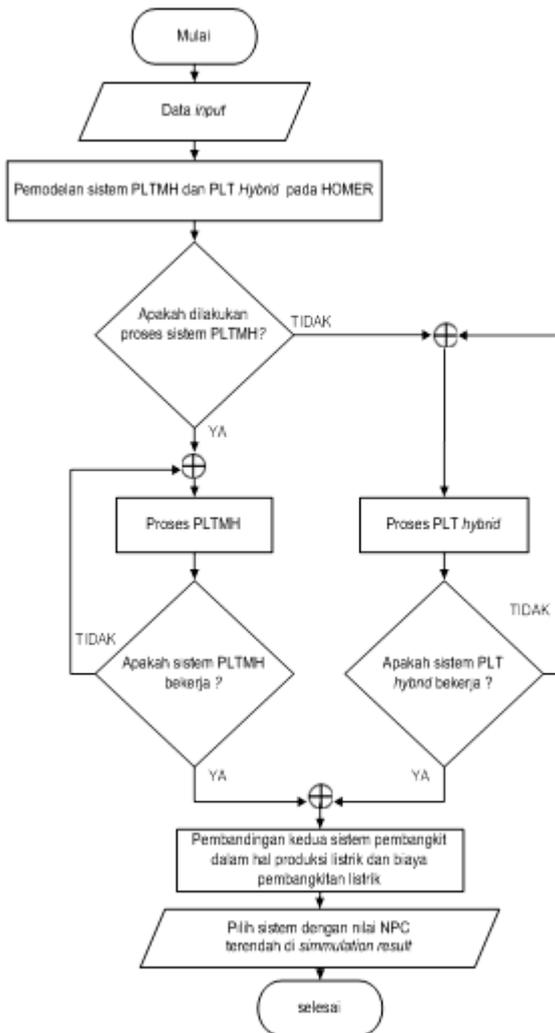
Dari perhitungan yang dilakukan sebagai pendekatan untuk mengetahui besarnya kebutuhan PV panel yang seharusnya disiapkan sehingga biaya yang dikeluarkan untuk modal PV panel dapat ditentukan didapatkan jumlah PV yang dibutuhkan untuk memenuhi beban 4 kW adalah sebanyak 24 buah, 48 unit baterai 12 Volt 83,3 Ah, dan 6 kW *bidirectional converter*.

TABEL 1. KONDISI KELISTRIKAN DI DUSUN SADAP

Jumlah penduduk teraliri listrik	180 rumah
Rata-rata daya listrik terpasang	722,78 Watt
lama pengoperasian PLTMH	24 jam
Biaya listrik perbulan	Rp10 rb /titik
Kapasitas Daya PLTMH	40 kW

4.2 Skema Pemodelan Sistem PLTH

Pada skema pemodelan sistem PLTH mikrohidro dan photovoltaic array dapat dilihat pada garis berwarna merah dengan menambahkan komponen PV panel, baterai dan converter. Setelah jumlah unit komponen PLTH dihitung dan harga unit diketahui dimasukkan, kemudian dilanjutkan dengan memberikan nilai "search space" pada masing-masing komponen PLTH termasuk mikrohidro untuk mendapatkan komposisi masing-masing pembangkit listrik dalam sistem PLTH hybrid yang tepat dengan mempertimbangkan biaya yang ekonomis.



Gambar 1. Diagram alir

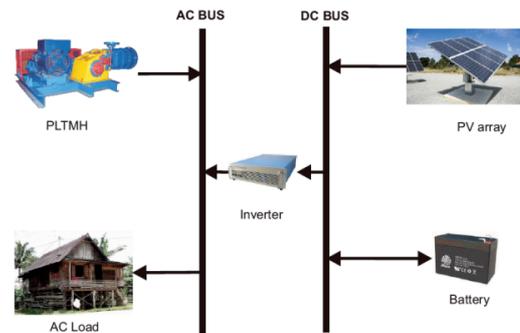
TABEL 2. SPESIFIKASI PV PANEL TN 200N

Rated Power (P_{max})	200 Watt
Efisiensi Cell	18,69 %
Tegangan pada Pmax (V_{mp})	37,5 Volt
Arus pada Pmax (I_{mp})	5,33
Tegangan Voc	46,5
Arus Short Circuit (I_{sc})	5,62
Max System Voltage	1000
Standard test condition	25°C
Size(mm)	1580*808*35

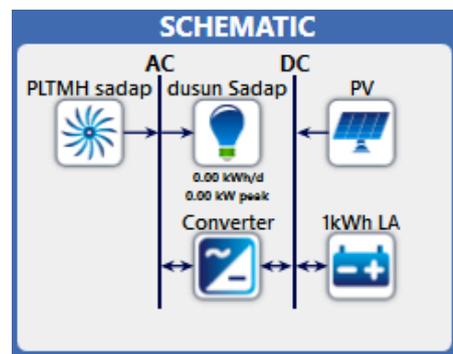
Hasil simulasi perhitungan PLTH mikrohidro dan PV array dapat dilihat pada Gambar 4. Terdapat banyak pilihan bervariasi yang ditampilkan melalui *simulation result*, namun pemilihan kondisi optimum dari suatu PLTH adalah melalui nilai NPC yang paling rendah.

Hasil dari perhitungan simulasi yakni jumlah tiap komponen yang dibutuhkan adalah 4 kW PV atau sebanyak 24 unit PV 200 Wp, 48 unit baterai 12 Volt 83,3 Ah, dan 6 kW *bidirectional converter* dengan nilai NPC terendah untuk PLTH mikrohidro dan photovoltaic array ini adalah sebesar Rp 938.310.656,00 dengan nilai awal pembangunan yang diperlukan untuk merealisasikan sistem PLTH mikrohidro dan photovoltaic array sebesar Rp 403.968.000,00. Total produksi energi listrik yang dihasilkan melalui harga NPC dan *initial cost* tersebut adalah sebesar 160.954 kWh/thn.

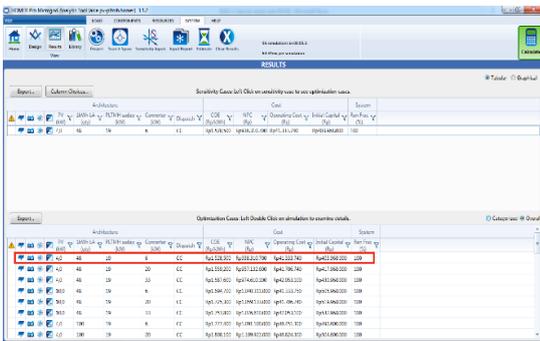
Dari Gambar 5 untuk komponen PV panel biaya yang dikeluarkan merupakan nilai *capital* sebesar Rp 68.000.000 tanpa penggantian selama 25 tahun operasi, baterai mengeluarkan biaya *capital* Rp 79.968.000 dengan penggantian selama 10 tahun operasi sebesar Rp 70.646.688, untuk *converter* biaya *capital* yang dikeluarkan adalah sebesar Rp 6.000.000 dengan penggantian selama 1 kali dalam 15 tahun beroperasi sebesar Rp 2.545.641. Sedangkan untuk biaya *capital* dari mikrohidro adalah Rp 250.000.000 dengan biaya operasi dan perawatan sebesar Rp 471.207.680 selama 25 tahun waktu operasi. Maka dari total biaya komponen yang dikeluarkan tersebut, jika dijumlahkan didapat biaya yang dikeluarkan oleh sistem atau nilai NPC dari sistem PLTH mikrohidro dan photovoltaic array ini sebesar Rp 938.310.464.



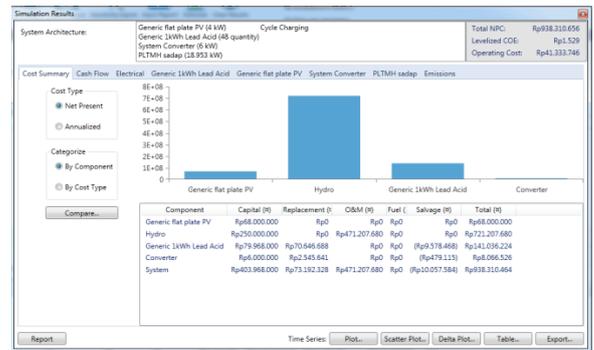
Gambar 2. Pemodelan PLTH Mikrohidro & PV



Gambar 3. Skema sistem PLTH



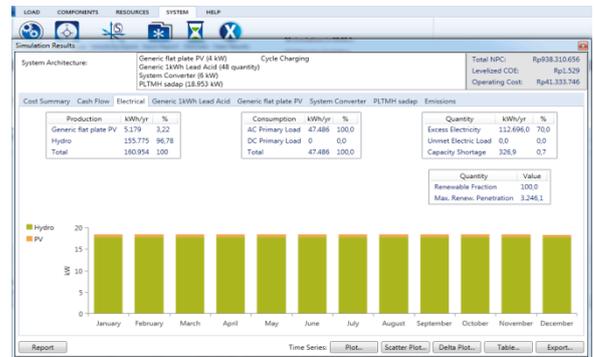
Gambar 4. Hasil perhitungan PLTH



Gambar 5. Perhitungan biaya PLTH

Maka diperoleh desain PLTH yang paling optimal sehingga demikian hasil simulasi bagian *electrical*-nya dapat diperlihatkan pada Gambar 6.

Gambar 6 menunjukkan hasil simulasi dari pemodelan sistem PLTH mikrohidrohidro dan *photovoltaic array* menampilkan bahwa kontribusi energi listrik yang diproduksi mikrohidro sebesar 155.775 kWh/yr atau sekitar 96.78% dan energi listrik yang diproduksi oleh *photovoltaic array* adalah sebesar 5.178 kWh/yr atau sekitar 3.22 %, sehingga dengan kontribusi total kedua pembangkit ketika 100% adalah sebesar 160.954 kWh/yr, nilai produksi energi listrik ini lebih tinggi dari pengoperasian PLT mikrohidro saja yaitu sebesar 155.775 kWh/yr.



Gambar 6. Hasil Simulasi Kelistrikan PLTH

V. PENUTUP

Setelah dilakukan simulasi pemodelan sistem PLTH mikrohidro dengan *photovoltaic array* dengan menggunakan bantuan *software* HOMER, maka dapat ditarik beberapa kesimpulan sebagai berikut:

1. Sistem PLTH mikrohidro dengan *photovoltaic array* yang paling optimal dalam mensuplai listrik untuk masyarakat dusun Sadap desa Perlang kecamatan Lubuk Besar kabupaten Bangka Tengah berdasarkan pada total NPC terendah dengan rinciannya sebagai berikut : 1 unit mikrohidro berkapasitas 19 kW, *photovoltaic array* dengan total kapasitas 4 kW, 48 unit baterai 12 Volt 83,3 Ah, dan 6 kW *bidirectional converter*. Konfigurasi tersebut ditetapkan sebagai yang paling optimal berdasarkan nilai *total NPC* terendah yaitu sebesar Rp 938.310.656 dan *levelized COE* sebesar Rp 1.528,500/kWh dengan *initial capital* yang diperlukan untuk merealisasikan sistem PLTH ini sebesar Rp 403.968.000.
2. Hasil simulasi dari pemodelan sistem PLTH mikrohidrohidro dan *photovoltaic array* menampilkan bahwa kontribusi energi listrik yang diproduksi mikrohidro sebesar 155.775 kWh/yr atau sekitar 96.78 % dan energi listrik yang diproduksi oleh *photovoltaic array* adalah sebesar 5.179 kWh/yr atau sekitar 3.22 %, sehingga dengan kontribusi total kedua pembangkit ketika 100% adalah sebesar 160.954 kWh/yr, nilai produksi energi listrik ini lebih tinggi dari pengoperasian PLT mikrohidro saja yaitu sebesar 155.775 kWh/yr.

REFERENSI

- [1] Badan Meteorologi, Klimatologi dan Geofisika, Stasiun Metereologi Pangkalpinang, 2015, "Data suhu rata-rata dan lama penyinaran matahari periode 2012-2014".
- [2] Novi Kurniasih, 2015, "Analisis Mode Sistem Pembangkit Listrik Tenaga Hibrid Microhydro – Photovoltaic Array Menggunakan HOMER", Jurnal Nasional Teknik Elektro, vol. 4, No. 1, hal. 30-40.
- [3] Rosyid, 2011, "Pembangkit Listrik Tenaga Surya Hibrida Untuk Listrik Pedesaan di Indonesia", Jurnal Material dan Energi Indonesia, vol. 1, no. 1, hal. 31-38.
- [4] Sari, Dewi Purnama, 2015, "Optimalisasi Desain Sistem Pembangkit Listrik Tenaga Hybrid Diesel Generator – Photovoltaic Array Menggunakan HOMER", Jurnal Nasional Teknik Elektro, vol. 4, No. 1, hal. 1-12.
- [5] Susilo, Guspan Hidi, 2015, "Pemodelan Sistem Pembangkit Listrik Hibrida, Diesel dan Energi Terbarukan di Pulau Enggano, Bengkulu Utara Menggunakan Perangkat Lunak HOMER".
- [6] The HOMER Pro 3 Software. (2016, Februari 03). HOMER 3 Version 3.1.2 [Online]. Availabe : <http://www.homerenergy.com>
- [7] Yulistiono, Irwan, 2012, "Perancangan Hybrid Sistem Photovoltaic di Gardu Induk Blimbing-Malang".
- [8] Zuhail, 1991, "Dasar Tenaga Listrik". ITB Bandung, Bandung.

