

STUDI TEKNIS DAN EKONOMIS SISTEM ENERGI HIBRIDA DIESEL-SURYA-ANGIN DI PULAU LEMUKUTAN KABUPATEN BENGKAYANG

Humaidi 1), Yandri 2), Iqbal Arsyad 3)
Program Studi Teknik Elektro Jurusan Teknik Elektro
Fakultas Teknik Universitas Tanjungpura, Pontianak
Email :umayalhabsy@student.untan.ac.id

Abstrak

Pada umumnya, mayoritas pasokan energi listrik di Indonesia disuplai dengan pembangkit listrik berbahan bakar fosil. Pemanfaatan sumber energi fosil sebagai penghasil energi listrik secara masif memberikan efek yang tidak ramah terhadap lingkungan dan kesehatan serta tingginya biaya operasional generator diesel, sehingga diperlukan pengembangan energi terbarukan secara hibrida yang lebih bersih dan ekonomis dalam menggantikan peran energi fosil sebagai penyuplai energi listrik. Penelitian ini mengkaji tentang potensi energi hibrida yang dapat digunakan sebagai penyokong kebutuhan listrik di Pulau Lemukutan baik dari sisi teknis dan juga ekonomisnya. Piranti perangkat lunak *HOMER* digunakan untuk menganalisis potensi energi hibrida tersebut. Potensi energi baru terbarukan yang dapat dimanfaatkan di Pulau Lemukutan yang paling optimal adalah energi surya. Kebutuhan energi listrik di Pulau Lemukutan selama 24 jam atau satu hari sebesar 1.186,17 kWh/hari. Sehingga kebutuhan energi listrik selama satu tahun adalah 432.953 kWh/tahun. Dalam aspek teknis pemenuhan kebutuhan energi listrik dilakukan dengan skenario konfigurasi paling optimal, yaitu sistem energi hibrida diesel-surya. Dari hasil simulasi didapat kapasitas generator diesel yang terpasang sebesar 140 kW, panel surya sebesar 85,4 kW, baterai memiliki kemampuan menyalurkan 12.376 kWh/tahun dengan susut energi sebesar 2.476 kWh/tahun, dan kapasitas sistem konverter untuk *inverter* dan *rectifier* berturut-turut adalah sebesar 57,1 kW dan 57,1 kW. Sistem mampu menghasilkan energi listrik sebesar 368.989 kWh/tahun dari sistem pembangkit tenaga diesel dan 130.142 kWh/tahun dari sistem pembangkit tenaga surya. Total energi yang dihasilkan dari keseluruhan sistem energi hibrida diesel-surya adalah sebesar 499.131 kWh/tahun. Dalam aspek ekonomis, pada skenario sistem energi hibrida yang paling optimal yaitu sistem energi diesel-surya dengan total *net present cost (NPC)* dihasilkan sebesar Rp38.545.108.000,00, dengan total biaya tahunan (*annualized cost*) sebesar Rp1.743.914.200,00, biaya operasional (*operational cost*) sebesar Rp1.508.131.660,00 dan *levelized cost of energy (LCOE)* sebesar Rp4.031,00/kWh. Berbeda hal dengan skenario sistem energi menggunakan pembangkit tenaga diesel saja, dimana besar daya dari *name plate* sebesar 175 kVA dengan faktor daya 0,8 sehingga besar daya diesel 140 kW, dan hasil simulasi didapat total *net present cost (NPC)* sebesar Rp45.710.648.620,00, total biaya tahunan sebesar Rp2.068.108.280,00, total *levelized cost of energy (LCOE)* sebesar Rp4.399,00/kWh dan biaya operasional terhitung sebesar Rp2.023.770.000,00. Secara keseluruhan, diketahui bahwa sistem energi hibrida diesel-surya lebih ekonomis dibanding dengan sistem energi diesel saja dengan persentase penghematan mencapai 16,30%. Sehingga dapat disimpulkan bahwa sistem energi hibrida diesel-surya yang lebih direkomendasikan untuk diterapkan dalam memenuhi kebutuhan energi listrik di Pulau Lemukutan.

Kata kunci : Potensi Energi, Sistem Energi Hibrida, HOMER

Abstract

In general, the majority of electricity supply in Indonesia is supplied by fossil fuel power plants. The use of fossil energy sources as a massive producer of electrical energy has an unfriendly effect on the environment and health as well as the high operating costs of diesel generators, so it is necessary to develop cleaner and more economical hybrid renewable energy in replacing the role of fossil energy as a supplier of electrical energy. This research examines the potential of hybrid energy which can be used to support electricity demand on Lemukutan Island, both from a technical and economic perspective. HOMER software is used to analyze the energy potential of the hybrid. The most optimal potential for new and renewable energy that can be utilized on Lemukutan Island is solar energy. The need for electrical energy on Lemukutan Island for 24 hours or one day is 1,186.17 kWh / day. So that the need for electrical energy for one year is 432,953 kWh / year. In the technical aspect, the fulfillment of electrical energy needs is carried out with the most optimal configuration scenario, namely the diesel-solar hybrid energy system. From the simulation results, the installed diesel generator capacity is 140 kW, the solar panel is 85.4 kW, the battery has the ability to distribute 12,376 kWh / year with an energy loss of 2,476 kWh / year, and the capacity of the converter system for inverters and rectifiers are respectively amounting to 57.1 kW

and 57.1 kW. The system is capable of producing electrical energy of 368,989 kWh / year from the diesel power generation system and 130,142 kWh / year from the solar power generating system. The total energy produced from the entire diesel-solar hybrid energy system is 499,131 kWh / year. In the economic aspect, the optimal hybrid energy system scenario is the diesel-solar energy system with a total net present cost (NPC) of IDR 38,545,108,000.00, with an annualized cost of IDR 1.743,914,200.00, operational costs amounting to Rp1,508,131,660.00 and the levelized cost of energy (LCOE) is Rp.4,031.00 / kWh. In contrast to the energy system scenario using only diesel power plants, where the power size of the name plate is 175 kVA with a power factor of 0.8 so that the diesel power is 140 kW, and the simulation results obtained a total net present cost (NPC) of IDR 45,710,648.620.00, the total annual cost is IDR 2,068,108,280.00, the total levelized cost of energy (LCOE) is IDR 4,399.00 / kWh and the operational costs are calculated as much as IDR 2,023,770,000.00. Overall, it is known that the diesel-solar hybrid energy system is more economical than the diesel energy system alone with a saving percentage of up to 16.30%. So it can be concluded that the diesel-solar hybrid energy system is recommended to be applied in meeting the electricity needs of Lemukutan Island.

Keywords: Energy Potential, Hybrid Energy Systems, HOMER

1. Pendahuluan

Pembangkit listrik tenaga konvensional merupakan pembangkit listrik yang sampai saat ini masih digunakan dikarenakan pembangkit dengan tenaga konvensional merupakan sumber energi utama Negara Indonesia. Pemakaian energi di Indonesia berkembang pesat bersamaan dengan perkembangan ekonomi dan meningkatnya jumlah penduduk. Akan tetapi sumber energi semacam gas alam, batu bara, dan minyak bumi diprediksikan akan habis pada tahun 2050 mendatang. Oleh karena itu pembangkit listrik energi terbarukan yang bersumber dari air, cahaya matahari, maupun angin harus ditingkatkan. Sumber energi terbarukan bisa menjadi langkah alternatif sebagai sumber pembangkit listrik yang tetap tertuju kepada keseimbangan dinamika, aspek teknis, keselamatan lingkungan hidup dan ekonomi di Indonesia.

Pembangkit listrik tenaga konvensional masih banyak digunakan sebagai pembangkit utama daerah-daerah di Indonesia. Salah satu daerah di Indonesia yang masih menggunakan pembangkit dengan tenaga konvensional sebagai pembangkit utamanya adalah Pulau Lemukutan Kabupaten Bengkayang Provinsi Kepulauan Kalimantan Barat.

Pembangkit listrik tenaga diesel (PLTD) masih digunakan sebagai pembangkit utama di Pulau Lemukutan. Untuk sekarang daya terpasang sebesar 175 kVA dengan faktor daya 0,8 sehingga besar daya adalah 140 kW sedangkan daya maksimal yang terpakai baru sekitar 70 kVA hingga 80 kVA dan konsumsi listrik sebesar 929 kWh/hari dengan jumlah pelanggan yang baru 300an yang rata-rata pelanggan 450 VA, meski ada sebagian diantaranya yang 900 VA, sehingga tidak pernah terjadi *overhall*. Namun masyarakat baru dapat menikmati listrik selama 14 jam yaitu mulai pukul 16.00 hingga 06.00 WIB. pembangkit listrik tenaga diesel memang merupakan pembangkit listrik yang memiliki efisiensi yang tinggi akan tetapi untuk mengoperasikan pembangkit listrik tenaga diesel ini memakan biaya yang sangat tinggi dikarenakan

harga bahan bakar yang selalu meningkat dan juga memiliki dampak buruk terhadap lingkungan akibat polusi dari PLTD.

Untuk itu dilakukan penelitian terlebih dahulu yang dalam hal ini adalah pengoperasian PLTD yang diintegrasikan dengan pembangkit listrik tenaga surya (PLTS) dan pembangkit listrik tenaga angin (PLT-Bayu) untuk memenuhi kebutuhan listrik selama 24 jam. Secara keseluruhan integrasi kedua tipe pembangkit listrik tersebut dinamakan pembangkit listrik hibrida atau sistem hibrida.

Studi teknis dan ekonomis energi hibrida dilakukan untuk memanfaatkan potensi lokal sebagai sumber energi terbarukan yang beroperasi secara terkoordinasi dan mandiri. Kombinasi dari berbagai sumber energi juga memungkinkan peningkatan efisiensi sistem dan mengurangi kebutuhan penyimpanan energi dibandingkan dengan sistem dengan sumber energi terbarukan tunggal. Dengan sifat saling melengkapi dengan penyimpanan sumber daya yang sangat andal.

Oleh karena itu penelitian ini, menyajikan hasil teknis dan ekonomis dari mempekerjakan sistem energi terbarukan hibrida surya-angin sebagai sumber energi di lokasi penelitian. Penelitian ini bertujuan untuk menentukan konfigurasi yang paling optimal dan ramah lingkungan dari sistem hibrida diesel-surya-angin. Model optimasi hibrida untuk energi terbarukan listrik menggunakan perangkat lunak *HOMER*, salah satu alat optimisasi yang paling banyak digunakan untuk sistem energi terbarukan untuk melakukan analisis teknis dan ekonomi.

2. Dasar Teori

2.1 Sistem Energi Hibrida

Sistem energi hibrida adalah sebuah sistem pembangkit listrik yang mengkombinasikan dua sumber energi atau lebih yang bertujuan untuk

menyuplai energi yang andal dan memiliki kualitas daya yang baik. Sistem energi hibrida ini juga digunakan untuk dapat menekan angka besarnya investasi dan operasional dari penyediaan energi listrik. [10]

Dalam membangun sistem energi hibrida, komponen sistem harus memiliki sistem distribusi arus searah (DC) dan sistem distribusi arus bolak-balik (AC), baterai penyimpanan energi, konverter dan sistem pengaturan beban. Semua komponen sistem tersebut dapat terkoneksi dalam berbagai jenis konfigurasi bergantung dari jenis klasifikasi daya keluarannya. [11]

Konfigurasi dari sistem energi hibrida dapat berupa gabungan berbagai jenis sumber energi, baik berupa gabungan energi terbarukan dengan energi konvensional maupun energi terbarukan seluruhnya. Salah satu konfigurasi sistem energi hibrida yang sering digunakan karena kemudahan implementasinya adalah sistem energi hibrid surya-angin (*PV- Wind*).

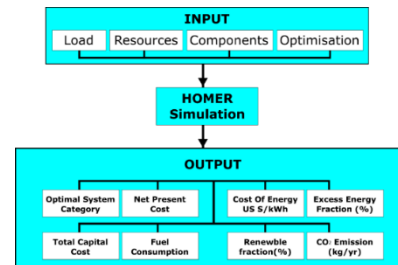
2.2. HOMER [15]

HOMER (The Hybrid Optimisation Model for Electric Renewables) adalah salah satu tool populer untuk desain sistem PLH menggunakan sumber energi terbarukan. *HOMER* mensimulasikan dan mengoptimalkan sistem pembangkit listrik baik *Stand-alone* maupun *grid-connected* yang dapat terdiri dari kombinasi Turbin Angin, *Photovoltaic (PV)*, mikrohidro, biomassa, generator (diesel/bensin), *microturbine*, fuel-cell, *battery*, dan penyimpanan hidrogen, melayani beban listrik maupun termal.

HOMER mensimulasikan operasi sistem dengan menyediakan perhitungan *Energy Balance* untuk setiap 8760 jam dalam setahun. Jika sistem mengandung *battery* dan generator diesel, *HOMER* juga dapat memutuskan untuk setiap jam apakah generator diesel/bensin beroperasi dan apakah *battery* diisi atau dikosongkan. Selanjutnya *HOMER* menentukan konfigurasi terbaik sistem dan kemudian memperkirakan biaya instalasi dan operasi sistem selama masa operasinya (*Life Time Costs*) seperti biaya awal, biaya penggantian komponen-komponen, biaya *O&M*, biaya Bahan Bakar, dan lain-lain.

Saat melakukan simulasi, *HOMER* menentukan semua konfigurasi sistem yang mungkin, kemudian ditampilkan berurutan menurut *net present costs (NPC)* atau disebut juga *life cycle cost*. Jika analisa sensitivitas diperlukan, *HOMER* akan mengulangi proses simulasi untuk setiap variabel sensitivitas yang ditetapkan. Error Relative tahunan sekitar 3% dan Error Relative bulanan sekitar 10%. Gambar 2.2 menunjukkan arsitektur *HOMER* dengan sedikit modifikasi. Ada tiga bagian utama *HOMER*; input, simulasi dan output.

Dalam penggunaannya, *HOMER* membutuhkan masukan data-data yang hendak digunakan sebagai parameter kalkulasi dari dalam mengoptimasi hasil simulasi. Parameter-parameter tersebut meliputi beban, jenis sumber energi, data potensi energi dan skenario dari sistem energi yang hendak diterapkan. Berikut adalah penjelasan singkat mengenai parameter-parameter tersebut.



Gambar 1. Arsitektur simulasi dan optimasi *HOMER*

2.3. Analisis Ekonomi

Ada beberapa parameter yang harus dihitung terlebih dahulu antara lain, tingkat potongan tunai (*real discount rate*), faktor potongan (*discount factor*), dan faktor pemulihan modal (*capital recovery factor*). Parameter ini nantinya digunakan untuk menghitung parameter-parameter analisis ekonomi yaitu biaya bersih saat ini atau *net present cost (NPC)*, biaya tahunan (*annualized cost*), biaya pokok produksi energi yang terukur atau *levelized cost of energy (LCOE)* dan biaya operasional (*operational cost*). Tingkat potongan tunai riil adalah rasio yang digunakan untuk menentukan nilai saat ini dari sebuah aset atau aliran pendapatan. Variabel ini digunakan untuk mengkonversi antara biaya satu kali dan biaya tahunan. Perangkat lunak *HOMER* menghitung tingkat potongan tunai riil tahunan (juga disebut tingkat bunga riil atau suku bunga) dari tingkat potongan tunai nominal dan tingkat inflasi yang diharapkan. *HOMER* menggunakan tingkat potongan tunai riil untuk menghitung faktor potongan dan biaya tahunan dari biaya bersih saat ini. [15]

a. Capital Recovery Factor [15]

Capital Recovery Factor merupakan rasio yang digunakan untuk menghitung nilai saat ini dari suatu anuitas (serangkaian besaran arus kas tahunan). Persamaan *Capital Recovery Factor* diberikan oleh persamaan (1).

$$CRF_{(i,Rproj)} = \frac{i \times (1+i)^{Rproj}}{(1+i)^{Rproj} - 1} \dots \dots \dots (1)$$

Tingkat bunga yang menjadi masukan di *HOMER* adalah tingkat bunga tahunan riil (disebut juga tingkat bunga riil atau hanya suku bunga). Ini adalah tingkat diskon yang digunakan untuk mengkonversi

antara biaya satu waktu dan biaya tahunan. Tingkat bunga tahunan riil berkaitan dengan tingkat bunga nominal dengan persamaan (2).

$$i = \frac{i' - f}{1 + f} \dots\dots\dots(2)$$

Parameter selanjutnya adalah faktor potongan. Faktor potongan adalah rasio yang digunakan untuk menghitung nilai saat ini dari arus kas yang terjadi di setiap tahun dari masa proyek. HOMER menghitung faktor diskon menggunakan persamaan berikut.

$$Fd = \frac{1}{(1+i)^n} \dots\dots\dots(3)$$

b. Levelized Cost of Energy (LCOE) [15]

Levelize Cost of Energy didefinisikan sebagai biaya rata-rata per kWh Produksi Energi Listrik yang terpakai oleh sistem. LCOE dihitung dengan persamaan (4). [15]

$$LCOE = \frac{C_{ann,tot}}{E_{prim,AC} + E_{prim,DC} + E_{def} + E_{gridsales}} \dots\dots\dots(4)$$

c. Total Net Present Cost (NPC) [15]

Total Net Present Cost (NPC) adalah nilai dari seluruh biaya yang dikeluarkan selama masa pakai, dikurangi nilai sekarang dari semua pendapatan diperoleh selama masa pakai. Biaya meliputi biaya modal, biaya penggantian, biaya O & M, biaya bahan bakar, denda emisi, dan biaya pembelian daya dari jaringan listrik. Sedangkan yang termasuk pendapatan adalah nilai sisa dan pendapatan dari penjualan daya ke jaringan listrik. HOMER menghitung NPC dengan menggunakan persamaan (5 dan 6). [15]

$$NPC = \frac{C_{ann,tot}}{CRF(i,R_{proj})} \dots\dots\dots(5)$$

$$C_{ann,tot} = C_{acap} + C_{arep} + CO\&M + C_{fuel} - C_s \dots\dots\dots(6)$$

d. Annualized Capital Cost [15]

HOMER memperhitungkan modal awal setiap komponen selama masa proyek untuk menghitung biaya modal tahunan perusahaan. HOMER menghitung biaya modal tahunan setiap komponen menggunakan persamaan (7).

$$C_{ann,tot} = CRF(i,R_{proj}) \times CNPC \dots\dots\dots(7)$$

e. Biaya Operasional (Operational Cost) [15]

Pendekatan perhitungan keekonomian yang keempat adalah biaya operasional (Operational Cost). Biaya operasional adalah biaya yang terkait dengan pemeliharaan dan administrasi suatu bisnis sehari-hari. Biaya ini merupakan komponen

pendapatan operasional dan biasanya tercermin pada laporan laba rugi perusahaan (Investopedia, 2018). Dalam analisisnya, biaya operasi dapat dihit ung dengan persamaan sebagai berikut.

$$C_{operational} = C_{ann,total} - C_{ann,cap} \dots\dots\dots(8)$$

3. Kondisi Kelistrikan Pulau Lemukutan dan Metode Penelitian

3.1. Kondisi Kelistrikan Pulau Lemukutan

Dari hasil survei Agustus 2020; kondisi kelistrikan di Pulau Lemukutan telah terpasang generator diesel dengan kapasitas daya 175 kVA dengan faktor daya 0,8 sehingga besar daya dalam watt adalah 140 kW. Pengadaan generator diesel ini adalah bantuan dari Pemerintah Pusat yaitu Program Pengembangan Kecamatan (PPK). Untuk sekarang daya maksimal yang terpakai baru sekitar 70 kVA hingga 80 kVA dan konsumsi listrik sebesar 929 kWh/hari dengan jumlah pelanggan yang baru 300an yang rata-rata pelanggan 450 VA, meski ada sebagian diantaranya yang 900 VA. Pengelolaan generator tersebut diberikan tanggungjawab PLN Lemukutan dengan dibawah oleh PLN Rayon Sei Duri. Dari 3 Generator di PLN Lemukutan, terdapat 1 generator yang rusak dengan kapasitas 100 kW dan 2 generator yang masih beroperasi dengan kapasitas masing-masing 175 kVA dengan faktor daya 0,8 sehingga besar daya dalam watt adalah 140 kW . Untuk generator yang beroperasi hanya satu generator untuk menyuplai daya ke konsumen setiap harinya.

Tabel 1. Kondisi Kelistrikan di Pulau Lemukutan

| No | Kapasitas Generator/jam operasi perhari/ | Jumlah Pelanggan | Rumah tidak berlistrik | Genset pribadi |
|---------------|--|----------------------|------------------------|--------------------|
| 1 | 100 kW | - | - | - |
| 2 | 140 kW/14 jam | 317 Rumah | 10 rumah | 10@300 watt |
| Jumlah | | 317 Pelanggan | 10 rumah | 10@300 watt |

Tabel 2. Hasil Tabulasi Konsumsi Energi Beban Harian per jam

| Jam | Beban (kWh) |
|-------------|-------------|
| 00.00-01.00 | 64,237 |
| 01.00-02.00 | 64,237 |
| 02.00-03.00 | 64,237 |
| 03.00-04.00 | 59,074 |
| 04.00-05.00 | 57,579 |
| 05.00-06.00 | 63,5 |
| 06.00-07.00 | 30,9 |
| 07.00-08.00 | 21,7 |
| 08.00-09.00 | 9,26 |
| 09.00-10.00 | 9,26 |

| | |
|------------------------|-----------------------------|
| 10.00-11.00 | 17,26 |
| 11.00-12.00 | 17,195 |
| 12.00-13.00 | 29,26 |
| 13.00-14.00 | 34,06 |
| 14.00-15.00 | 34,495 |
| 15.00-16.00 | 21,96 |
| 16.00-17.00 | 64,075 |
| 17.00-18.00 | 79,672 |
| 18.00-19.00 | 84,732 |
| 19.00-20.00 | 84,732 |
| 20.00-21.00 | 70,037 |
| 21.00-22.00 | 68,237 |
| 22.00-23.00 | 68,237 |
| 23.00-00.00 | 68,237 |
| Total kWh | 1.186,173 = 1.186,17 |
| Rata-rata kWh | 49,4239 |
| Beban Puncak kW | 84,7320 |
| Beban Dasar kW | 9,2600 |

(Sumber : olahan data survei, 2020)

3.2. Metode Penelitian

a. Prosedur Penelitian

Pada dasarnya penelitian ini dilaksanakan dengan prosedur mulai dari identifikasi hingga kesimpulan. Prosedur penelitian ini menjelaskan tiap proses dalam melakukan studi teknis dan ekonomis sistem energi hibrida untuk pemenuhan kebutuhan energi listrik di Pulau Lemukutan selama satu hari atau 24 jam. Adapun penjelasan tahapan-tahapan tersebut adalah sebagai berikut :

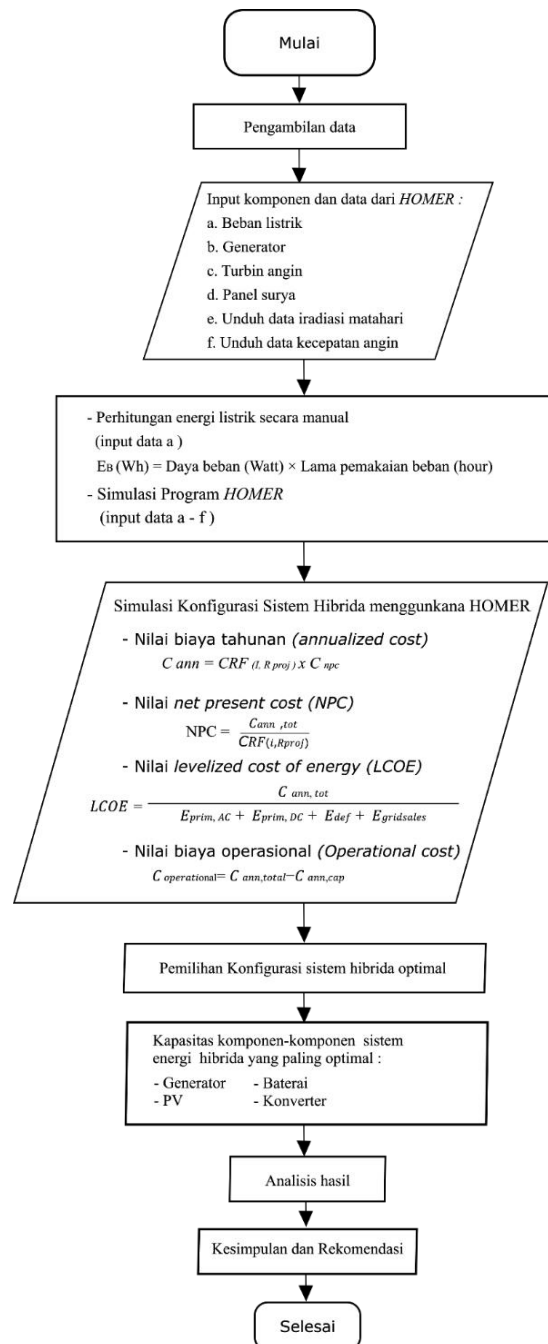
1. Melakukan Studi Literatur
2. Pengumpulan Data dan Observasi Lapangan
Melakukan pengumpulan data dan observasi lapangan yaitu : Data beban listrik, data klimatologi penyinaran matahari, data klimatologi kecepatan angin, komponen sistem daya terbarukan, data generator, data panel surya dan data turbin angin serta melakukan observasi lapangan.
3. Menghitung *demand*/kebutuhan energi listrik di Pulau Lemukutan.
4. Menentukan kapasitas daya untuk konfigurasi sistem hibrida paling optimal di Pulau Lemukutan.
5. Melakukan perhitungan energi listrik secara manual dan simulasi untuk menentukan nilai *net present cost* (NPC), biaya tahunan (*annualized cost*), biaya energi rata-rata (*LCOE*) dan biaya operasional (*operating cost*) pada sistem energi hibrida diesel-surya-angin menggunakan HOMER.
6. Analisis hasil perhitungan *net present cost* (NPC), biaya tahunan (*annualized cost*), biaya energi rata-rata (*LCOE*) dan biaya operasional (*operating cost*) pada sistem energi hibrida diesel-surya-angin menggunakan HOMER.

Dari konfigurasi sistem energi hibrida antara (diesel-surya-angin) yang paling ekonomis.

b. Analisis Hasil

Dari hasil perhitungan sistem energi hibrida diesel-surya-angin menggunakan HOMER maka diperoleh beberapa Analisa yaitu : *net present cost* (NPC), biaya tahunan (*annualized cost*), biaya energi rata-rata (*LCOE*) dan biaya operasional (*operating cost*) pada sistem energi hibrida dengan konfigurasi yang paling ekonomis.

c. Diagram Alir Penelitian



Gambar 2. Diagram alir simulasi sistem energi Hibrida diesel-surya-angin menggunakan perangkat lunak HOMER

4. Hasil dan Analisis Hasil

Dari simulasi *HOMER* di peroleh nilai beban harian sebagai berikut:

Rata-rata energi beban harian dalam setahun sebesar
 = 1.186,17 kWh

Beban rata-rata per tahun sebesar
 = 49,423 kW

Beban Puncak yang mungkin terjadi dalam satu tahun sebesar = 84,73 kW

sehingga Total Energi Beban Listrik yang harus dipenuhi di Pulau Lemukutan dalam setahun sebesar:
 Energi beban rata-rata pertahun = 1.186,17 kWh/hari × 365 hari = ±432.953 kWh/tahun

4.1. Hasil Simulasi Sistem Energi Hibrida

Pada simulasi sistem energi hibrida menggunakan aplikasi *HOMER* didapatkan lima konfigurasi yaitu surya-diesel, surya-angin-diesel, diesel, angin-diesel, dan surya-angin-diesel (tanpa baterai).

Untuk nilai *NPC* (*net present cost*) dengan konfigurasi diesel-surya, surya-angin-diesel, diesel, angin-diesel, dan surya-angin-diesel (tanpa baterai) berturut-turut adalah Rp38.545.108.000,00, Rp38.665.648.000,00, Rp50.060.654.000,00, Rp50.189.482.000,00, dan Rp81.435.830,00.

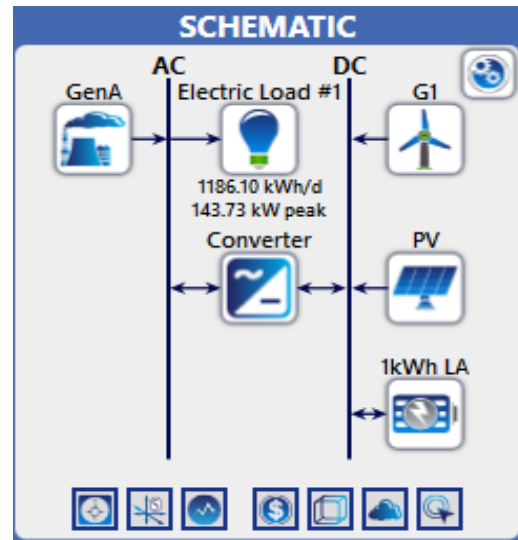
Kemudian untuk nilai *LCOE* (*Levelized Cost of Energy*) dengan konfigurasi diesel-surya, surya-angin-diesel, diesel, angin-diesel, dan surya-angin-diesel (tanpa baterai) berturut-turut adalah Rp4.031,00, Rp4.043,00, Rp5.236,00, Rp5.244,00, dan Rp8.513,00.

Kemudian untuk biaya operasi (*operational cost*) dengan konfigurasi diesel-surya, surya-angin-diesel, diesel, angin-diesel, dan surya-angin-diesel (tanpa baterai) berturut-turut adalah Rp1.508.131.800,00, Rp1.504.631.800,00, Rp2.122.223.600,00, Rp2.108.862.000,00, dan Rp1.612.440.200,00.

Kemudian yang terakhir adalah biaya awal (*initial capital*) dengan konfigurasi diesel-surya, surya-angin-diesel, diesel, angin-diesel, surya-angin-dan diesel (tanpa baterai) berturut-turut adalah Rp5.211.416.000,00, Rp5.409.313.000,00, Rp3.153.925.600,00, Rp3.578.605.800,00, dan Rp45.796.660.000,00.

4.2. Hasil Simulasi Sistem Optimal Energi Hibrida (Diesel-Surya)

Pada simulasi dengan konfigurasi sistem energi hibrida diesel-surya-angin yang terdiri beban listrik (*load*), generator diesel, panel surya, turbin angin, perangkat penyimpanan energi/baterai, dan konverter. Gambar skematik dari sistem energi hibrida yang tidak terhubung dengan jaringan (*off Grid*) dapat terlihat pada gambar berikut.



Gambar 3. Skematik sistem energi hibrida *off grid*

Optimasi hasil simulasi sistem energi hibrida *off Grid* memiliki beberapa jenis konfigurasi. Hasil simulasi diurutkan berdasarkan nilai *levelized cost of energy* (*LCOE*) termurah. Pemilihan hasil simulasi dilakukan berdasarkan skema sistem energi hibrida diesel-surya-angin. Berdasarkan hasil simulasi dari sistem hibrida diesel-surya-angin, didapatkan konfigurasi kapasitas optimal dari sistem energi hibrida yang dapat menyuplai kebutuhan energi listrik di Pulau Lemukutan adalah sistem hibrida diesel-surya.

Tabel 3. Konfigurasi Optimal Sistem Energi Hibrida

| <i>Power Calculation</i> | | | |
|--------------------------|-----------------------|--------------|------------------|
| <i>Generator</i> | <i>Battery</i> | <i>Solar</i> | <i>System</i> |
| <i>Set</i> | | <i>PV</i> | <i>Converter</i> |
| 140 kW | 239 <i>Strings</i> | 85,4 kW | 57,1 kW |

4.3. Analisis Hasil

Kebutuhan (*demand*) energi total di Pulau Lemukutan dari hasil perhitungan adalah sebesar 432.953 kWh/tahun. Sedangkan untuk konsumsi energi tahunan dari hasil simulasi *HOMER* adalah sebesar 432.640 kWh/tahun. Untuk kapasitas daya yang diproduksi dari energi terbarukan yaitu sebesar 130.142 kWh/tahun dan energi konvensional sebesar 368.989 kWh/tahun, sehingga total kapasitas yang diproduksi dari energi terbarukan dan energi konvensional adalah sebesar 499.131 kWh/tahun.

Pada simulasi sistem energi diesel yang terpasang memiliki kapasitas sebesar 140 kW. Produksi energi dari generator ini adalah sebesar 481.697 kWh/tahun. Sistem ini dapat bekerja memproduksi energi listrik selama 8.760 jam/tahun, dengan kata lain, persentase

total waktu produksi sistem ini sekitar 100% per tahunnya. Sistem energi ini memiliki *levelized cost of energy (LCOE)* Rp4.399,00 per kWh. Nilai *net present cost (NPC)* pada sistem ini sebesar Rp45.710.648 dan Biaya Tahunan (*Annualized Cost*) Rp2.068.108.280,00 serta Biaya Operasional (*Operational Cost*) adalah sebesar Rp2.023.70.000,00.

Untuk Konfigurasi sistem energi hibrida yang paling optimal adalah sistem energi hibrida diesel-surya dengan parameter terpengaruh adalah *net present cost (NPC)*, biaya tahunan (*annualized cost*), *LCOE* dan biaya operasional (*operational cost*). Untuk biaya total *net present cost (NPC)* adalah sebesar Rp38.545.108.000,00, kemudian biaya tahunan (*annualized cost*) sebesar Rp1.743.914.200,00, kemudian besar biaya pokok produksi energi listrik (*LCOE*) sebesar Rp4.031,00 /kWh dan biaya operasional (*operational Cost*) sebesar Rp1.508.131.660,00. Untuk konfigurasi ini mempunyai arsitektur dengan panel surya sebesar 85,4 kW, diesel sebesar 140 kW, baterai 239 *strings*, dan konverter sebesar 57,1 kW.

Untuk konfigurasi yang kedua yaitu diesel-surya-angin mempunyai arsitektur dengan diesel 140 kW, turbin angin 1 kW, panel surya sebesar 88 kW, baterai 242 *strings*, dan konverter sebesar 55,6 kW. Kemudian biaya dari konfigurasi ini didapat nilai *NPC*, *LCOE*, biaya operasi dan biaya awal berturut-turut adalah Rp38.545.108.000,00, Rp4.043,00, Rp1.504.631.800,00, dan Rp5.409.313.000,00.

Untuk konfigurasi yang ketiga yaitu diesel mempunyai arsitektur dengan diesel sebesar 140 kW, baterai 454 *strings*, dan konverter sebesar 63,6 kW. Kemudian biaya dari konfigurasi ini didapat nilai *NPC*, *LCOE*, biaya operasi dan biaya awal berturut-turut adalah Rp50.060.654.000,00, Rp5.234,00, Rp2.122.223.600,00, dan Rp3.153.925.600,00.

Untuk konfigurasi yang keempat yaitu diesel-angin mempunyai arsitektur dengan diesel sebesar 140 kW, turbin angin 5 kW, baterai 439 *strings*, dan konverter 63 kW. Kemudian biaya dari konfigurasi ini didapat nilai *NPC*, *LCOE*, biaya operasi dan biaya awal berturut-turut adalah Rp50.189.482.000,00, Rp5.249,00, Rp708.838.200,00, dan Rp778.605.800,00..

Untuk konfigurasi yang terakhir yaitu diesel-surya-angin (tanpa baterai) mempunyai arsitektur dengan diesel sebesar 140 kW, panel surya sebesar 1.103 kW, turbin angin 60 kW, dan konverter 79,4 kW. Kemudian biaya dari konfigurasi ini didapat nilai *NPC*, *LCOE*, biaya operasi dan biaya awal berturut-turut adalah Rp81.435.830.000,00, Rp8.513,00, Rp212.440.200,00, dan Rp45.796.660.000,00.

Untuk perbandingan pembangkit listrik tenaga diesel saja dengan pembangkit listrik hibrida yang paling optimal bisa dilihat pada tabel 4 dibawah ini.

Tabel 4. Nilai Perbandingan Konfigurasi PLTD dengan PLH Paling Optimal (Diesel-Surya)

| Konfigurasi | Pembangkit Listrik Tenaga Diesel (PLTD) | Pembangkit Listrik Hibrida Paling Optimal (Diesel-Surya) | Selisih (Perbandingan) |
|-------------------------|---|--|------------------------|
| <i>NPC</i> | Rp45.710.648.620,00 | Rp38.545.108.000,00 | Rp7.165.540.620,00 |
| <i>Annualized Cost</i> | Rp2.068.108.280,00 | Rp1.743.914.200,00 | Rp324.194.080,00 |
| <i>LCOE</i> | Rp4.399,00 | Rp4.031,00 | Rp368,00 |
| <i>Operational Cost</i> | Rp2.023.770.000,00 | Rp1.508.131.660,00 | Rp515.638.340,00 |

Untuk selisih nilai *NPC*, *Annualized Cost*, *LCOE*, dan *Operational Cost* antara PLTD dan PLH paling optimal (diesel-surya) berturut-turut adalah Rp7.165.540.620,00, Rp324.194.080,00, Rp368,00, dan Rp515.638.340,00. Kemudian untuk penghematan nilai *NPC*, *Annualized Cost*, *LCOE*, dan *Operational Cost* antara PLTD dan PLH paling optimal (diesel-surya) berturut-turut adalah 15,68%, 15,68%, 8,37%, dan 25,48%. Sehingga rata-rata penghematan jika dikalkulasikan mencapai 16.30 %.

Kemudian jam operasi untuk pembangkit listrik tenaga diesel pada sistem energi hibrida yang paling optimal yaitu diesel-surya dimulai pukul 16.00-06.00 WIB dan jam operasi untuk sistem energi terbarukan (PLTS), yaitu dimulai pukul 06.00-16.00 WIB.

5. Kesimpulan

Penggunaan pembangkit listrik berbasis energi terbarukan untuk wilayah Kalimantan Barat masih sangat rendah. Sehingga studi potensi penerapan energi hibrida untuk pemenuhan kebutuhan listrik di Pulau Lemukutan ini diperlukan sebagai langkah awal untuk memanfaatkan energi terbarukan sebagai pembangkit tenaga listrik. Dalam penelitian ini, diketahui hasil penelitian memiliki beberapa poin penting sebagai berikut :

1. Kebutuhan energi listrik di Pulau Lemukutan selama 24 jam atau satu hari sebesar 1.186,17 kWh/hari. Sehingga kebutuhan energi listrik selama satu tahun adalah 432.953 kWh/tahun.
2. Dalam aspek teknis pemenuhan kebutuhan energi listrik dilakukan dengan skenario konfigurasi paling optimal, yaitu sistem energi hibrida diesel-surya. Dari hasil simulasi didapat kapasitas generator diesel yang terpasang sebesar 175 kVA dengan faktor daya 0,8 sehingga besar daya adalah 140 kW, panel surya sebesar 85,4 kW, baterai memiliki kemampuan menyalurkan 12.376 kWh/tahun dengan susut energi sebesar 2.476 kWh/tahun, dan kapasitas sistem konverter (*inverter* dan *rectifier*) berturut-turut adalah sebesar 57,1 kW dan 57,1 kW. Sistem mampu

menghasilkan energi listrik sebesar 368.989 kWh/tahun dari sistem pembangkit tenaga diesel dan 130.142 kWh/tahun dari sistem pembangkit tenaga surya. Total energi yang dihasilkan dari keseluruhan sistem energi hibrida diesel-surya adalah sebesar 499.131 kWh/tahun.

3. Dalam aspek ekonomis pada skenario sistem energi hibrida yang paling ekonomis yaitu sistem energi diesel-surya dengan total *net present cost (NPC)* dihasilkan sebesar Rp38.545.108.000,00, total biaya tahunan sebesar Rp1.743.914.200,00, biaya operasional sebesar Rp1.508.131.660,00, dan biaya pokok produksi *levelized cost of energy (LCOE)* sebesar Rp4.031,00/kWh. Berbeda hal dengan skenario sistem energi menggunakan pembangkit tenaga diesel saja, dimana total *net present cost (NPC)* diketahui sebesar Rp45.710.648.620,00 dengan total biaya tahunan sebesar Rp2.068.108.000,00, *levelized cost of energy (LCOE)* sebesar Rp4.399,00/kWh dan biaya operasional (*operational cost*) terhitung sebesar Rp2.023.770.000,00. Perbandingan model ekonomi dari kedua konfigurasi dapat dilihat pada tabel 4.13. Secara keseluruhan, diketahui bahwa sistem energi hibrida diesel-surya lebih ekonomis dibanding dengan sistem energi diesel saja dengan persentase penghematan mencapai 16,30%. Sehingga dapat disimpulkan bahwa sistem energi hibrida diesel-surya yang lebih direkomendasikan untuk diterapkan dalam memenuhi kebutuhan energi listrik di Pulau Lemukutan.

6. Saran

Dalam penelitian ini terdapat beberapa saran yang dapat dijadikan acuan dalam pengembangan penelitian terkait penerapan energi hibrida untuk pemenuhan kebutuhan listrik di Pulau Lemukutan. Penelitian ini diharapkan dapat menjadi salah satu opsi bagi pemangku kebijakan daerah agar mulai mengarahkan kebijakan-kebijakan terkait energi menjadi lebih ramah lingkungan. Berikut adalah saran dan rekomendasi yang dapat dilakukan kajian pada penelitian selanjutnya:

1. Data beban listrik merupakan prakiraan dari data sekunder yang didapat dari survei oleh penulis dan datanya diolah, jika menggunakan data *detailed engineering design (DED)* dari kontraktor pengembang wilayah hasil simulasi akan lebih eksplisit.
2. Data potensi energi surya dan angin yang digunakan hanya berbasis dari *built-in* dari perangkat lunak HOMER, jika penelitian menggunakan data dari Badan Meteorologi, Klimatologi, dan Geofisika (BMKG) Kalimantan Barat kemungkinan hasil simulasi akan lebih akurat.

Daftar Pustaka :

1. Khan, M. J., & Iqbal, M. T. (2005). *Pre-feasibility study of stand-alone hybrid energy systems for applications in Newfoundland*. *Renewable Energy*, 30(6), 835–854.
<https://doi.org/10.1016/j.renene.2004.09.001>
2. Liu, G., Rasul, M. G., Amanullah, M. T. O., & Khan, M. M. K. (2011). *Feasibility study of stand-alone PV-wind-biomass hybrid energy system in Australia*. In *Asia-Pacific Power and Energy Engineering Conference, APPEEC*. Rockhampton.
<https://doi.org/10.1109/APPEEC.2011.5749125>
3. Saqr, K. M., & Musa, M. N. (2011). *A perspective of the Malaysian highway energy consumption and future power supply*. *Energy Policy*, 39(6), 3873–3877.
4. Neamt, L., & Chiver, O. (2013). *A Simple Method for Photovoltaic Energy Estimation*, 4.88
5. Andrews, T. (2013). *Evaluation and Selection of Renewable Energy Technologies for Highway Maintenance Facilities* By: University of Cincinnati.
6. Ramli, M. A. M., Hiendro, A., & Al-Turki, Y. A. (2016). *Techno-economic energy analysis of wind/solar hybrid system: Case study for western coastal area of Saudi Arabia*. *Renewable Energy*, 91(Elsevier), 374–385.
<https://doi.org/10.1016/j.renene.2016.01.071>
7. Utami, Elina. Triyatno & Yudi Antomi. (2018). *Potensi Pulau-Pulau Kecil untuk Wisata Pantaidi Kota Pariaman*. Universitas Negeri Padang.
8. Demirel, Y. (2012). *Energy*. London: Springer-Verlag London 2012.
<https://doi.org/10.1007/978-1-4471-2372-9>
9. Formighieri, C., & Bass, R. (2013). *Renewable Energy Systems*. *Renewable Energy Systems*.
<https://doi.org/10.1007/978-1-4614-5820-3>
10. Rekioua, D., & Matagne, E. (2012). *Optimization of photovoltaic power systems*. New York: Springer-Verlag London Limited 2012.
<https://doi.org/10.2174/97816080528511060101>
11. Susanto, Alex. Malik Abdul Aziz. (2015). *“Pembangkit Listrik Tenaga Angin”*. UNNES
12. Sari, D.P. dan Nazir, R. (2015), *“Optimalisasi Desain Sistem Pembangkit Listrik Tenaga Hybrid Diesel Generator Photovoltaic Array Menggunakan HOMER (Studi Kasus : Desa*

- Sirilogui, Kabupaten Kepulauan Mentawai)”,
Jurnal Nasional Teknik Elektro, Vol. 4, No. 1,
ISSN. 2302 – 2949
13. Guda, H.A. dan Aliyu, U.O. (2015),
“Design of a Stand-Alone Photovoltaic
System for a Residence in Bauchi”,
International Journal of Engineering and
Technology (IJET), Department of Electrical
and Electronics Engineering, Abubakar
Tafawa Balewa University, Bauchi Nigeria,
Vol. 5, No. 1, ISSN. 2049 – 3444
14. Kahar, Badrud. (2016). “Studi dan Pemodelan
Penyediaan Energi di Pulau Moti Kota
Ternate Berbasis Energi Terbarukan”, Jurusan
Teknik Fisika, Fakultas Teknologi Industri,
Institut Teknologi Sepuluh November,
Surabaya
15. Kresnawan, Muhammad Rizki, (2018).
“Analisis Potensi Penerapan Energi Hibrida
Untuk Pemenuhan Kebutuhan Listrik Pada
Infrastruktur Kawasan Jalan Pesisir Pantai
Balikpapan, Program Pasca Sarjana Fakultas
Teknik, Universitas Gajah Mada, Yogyakarta.

Biografi



Humaidi, lahir di Pontianak, 25 Mei 1996. Menempuh pendidikan dasar di SD Negeri 25 Sungai Adong lulus pada tahun 2009, melanjutkan ke SMP Negeri 01 Sungai Raya sampai tahun 2012 dan melaniutkan ke SMA

Negeri 02 Sungai Raya sampai tahun 2015. Memperoleh gelar Sarjana dari Program Studi Teknik Elektro Universitas Tanjungpura Pontianak pada tahun 2021.