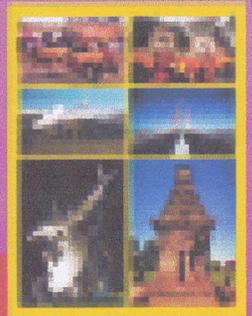


ISSN : 2085-1931

1st APTECS 2009

NATIONAL SEMINAR ON APPLIED TECHNOLOGY, SCIENCE, AND ARTS



THE PROCEEDING

Surabaya, Dec. 22, 2009



ITS
Institut Teknologi
Sepuluh Nopember

11 TRIKORNA PERSEMESTA 2009
PENGALAMAN KEMAJUAN
MAYASAMUDRA

FIND-11

IPTEK

The electronic Technology and Science



Energy Efficiency and Optimization of Hybrid Power System Configuration in Sebesi Island (Krakatau Conservation Area)

HERLINA, EKO ADHI SETIAWAN, I MADE ARDITA

Fakultas Teknik Universitas Indonesia, Depok 16424 Tel : (021) 7270011 ext 51. Fax : (021) 7270077
email : herlinawahab@yahoo.com , ekoas@ee.ui.ac.id

Abstract — Hybrid power system is the integration of power system based on fossil fuel energy and renewable energy. The main purpose of the system is to save the fossil fuel and reduce the environmental effect, especially CO₂ emission. The hybrid system is a multi-variable system. HOMER, a micropower optimization modeling software is used to analyze data for both wind speed and solar radiation, simulating hybrid system configurations at once and rank them according to its lowest net present cost. The configuration of the hybrid system in Sebesi island consist of a diesel generating unit , photovoltaic modules (PV) and wind turbines. The optimum hybrid system from the simulation and optimization result is consist of wind and diesel generating set. Contribution of wind turbin is 57% and the contribution of diesel generating set is 43%. The optimum hybrid system has \$ 943.957 of the total NPC, COE is \$ 0,492 \$/kWh , fuel consumption in a yearly is 42.360 litre, CO₂ emission is 112.258 kg/year or decrease 43,4% from the first condition, excess electricity is 44.984 kWh/year or 0.66%,

Keywords — Hybrid system, Simulation, NPC, CO₂ emission, COE

1. PENDAHULUAN

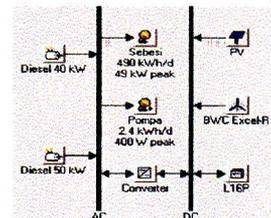
Pulau Sebesi adalah salah satu pulau di Indonesia yang terletak di mulut Teluk Lampung dengan posisi geografis 5° 55' 37,43" - 5° 58' 44,48" LS dan 105° 27' 30,50" - 105° 30' 47,54" BT, berdekatan dengan Kepulauan Krakatau, yang terpencil dan terisolasi.^[1]

Saat ini energi listrik di Pulau Sebesi dipasok oleh 2 unit Pembangkit Listrik Tenaga Diesel (PLTD) yang masing-masing memiliki kapasitas terpasang 40 kW dan 50 kW. Namun demikian PLTD hanya beroperasi selama 8 jam per hari yaitu mulai dari jam 16.00 sampai jam 00.00 dengan beban puncak sebesar 49 kW.

Keluaran studi ini berupa unjuk kerja atau kemampuan PLTH, yaitu integrasi antara PLTD yang berbasis BBM, dengan PLTS dan PLTB yang berbasis energi terbarukan, berupa total daya PLTH, jumlah BBM yang dapat dihemat, kelebihan energi listrik yang dihasilkan, biaya listrik dan keluaran emisinya. Pengolahan data dalam studi ini seluruhnya berbantuan perangkat lunak HOMER.

2. METODOLOGI

PLTH yang didesain terdiri dari dua unit generator diesel 40 kW, 50 kW, modul photovoltaic (PV), turbin angin 7.5 kW, baterai dan inverter. Gambar 1 adalah gambar sistem PLTH

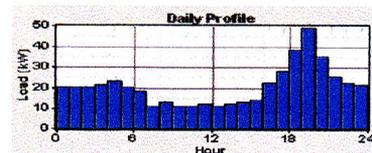


Gambar 1. Sistem PLTH

PLTH disimulasikan dengan 2 kondisi, yaitu kondisi pertama adalah kondisi sistem pembangkit listrik awal menggunakan 2 unit diesel kapasitas 40 kW dan 50 kW, kondisi kedua disain baru PLTH dengan batas minimum Renewable Fraction 0%. Kedua kondisi PLTH tersebut disimulasikan dengan beban tetap, kecepatan angin 3 - 7 m/s, harga bahan bakar 0,4 - 1.0 \$/L. Lama waktu pengoperasian kesatuan sistem ini adalah 25 tahun, interest rate 8%, dispatch strategy yang digunakan adalah cycle charging dan generator diperbolehkan beroperasi dibawah beban puncak.

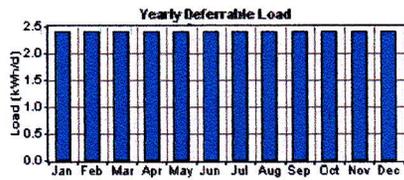
Kebutuhan Beban

Jenis kebutuhan beban disini terdiri dari 2 jenis, yaitu : beban rata - rata harian untuk Pulau Sebesi sebesar 490 kWh/hari dengan beban puncaknya sebesar 49 kW terjadi pada jam 19.00 - 20.00.



Gambar 2. Kondisi Kebutuhan Beban [3]

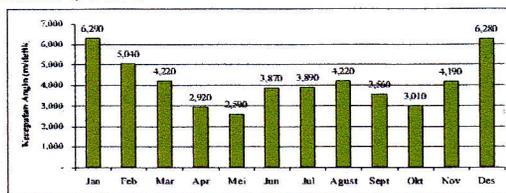
Beban ini adalah berupa pompa air dengan beban puncak sebesar 400 watt beroperasi selama 6 jam setiap hari.



Gambar 3. Beban Deferrable berupa pompa air

Turbin Angin

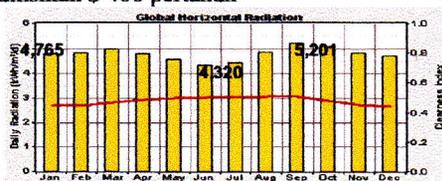
Biaya investasi awal untuk 7.5 kW Turbin Angin adalah sebesar \$ 39.745^[15], biaya penggantian \$ 26.845 dan biaya operasi dan pemeliharaan selama satu tahun sebesar \$ 1000.



Gambar 4. Kecepatan Angin di Pulau Sebesi [4]

Modul Photovoltaik

Modul PV yang digunakan terdiri dari 10 panel yang tersusun seri, lama waktu pengoperasian selama 25 tahun dan tanpa tracking. Biaya investasi awal untuk 12 kW sebesar \$ 66.000, biaya penggantian \$ 66.000, biaya operasional dan pemeliharaan dengan diasumsikan \$ 400 pertahun



Gambar 5. Clearness Index dan Daily Radiation di Pulau Sebesi selama setahun [4]

Generator Diesel

Generator Diesel yang digunakan adalah dua unit Generator Diesel dengan kapasitas 40 kW dan 50 kW. Waktu operasi untuk masing – masing generator diperkirakan 15.000 jam dan pembebanan minimumnya adalah 30 %. Untuk generator diesel kapasitas 40 kW biaya investasi sebesar \$ 22.000^[16], biaya penggantian \$ 18.000, biaya operasi dan pemeliharaan perhari diasumsikan sebesar \$ 0,07 untuk generator diesel kapasitas 40 kW sedangkan untuk generator diesel kapasitas 50 kW biaya investasi sebesar \$ 27.000, biaya penggantian \$ 22.000, biaya operasi dan pemeliharaan perhari sebesar \$ 0.72 untuk generator diesel kapasitas 50 kW

Baterai

Biaya investasi untuk baterai ini sebesar \$ 620^[9], biaya penggantian sebesar \$ 620 dan biaya operasi dan pemeliharaan pertahun diasumsikan sebesar \$ 50

Inverter

Biaya investasi untuk Bidirectional inverter untuk 8 kW sebesar \$ 5.960^[10], biaya penggantian sebesar \$ 5.960 dan biaya operasi dan pemeliharaan pertahun diasumsikan sebesar \$ 596.

Persamaan Perhitungan Sistem PLTH

Persamaan Daya Pembangkit Tenaga Angin

$$P_w = \eta_w * \eta_g * 0.5 * \rho_a * C_p * A * V_r^3 \quad (3.1)$$

Persamaan Daya Pembangkit Tenaga Surya

$$P_{pv} = \eta_{pv} * \eta_g * N_{pvp} * N_{pvs} * V_{pv} * I_{pv} \quad (3.2)$$

Persamaan Total Daya Pembangkit Tenaga Terbarukan

$$P(t) = \sum_{w=1}^{n_x} P_w + \sum_{s=1}^{n_x} P_s \quad (3.3)$$

Persamaan Pengosongan Baterai

$$P_b(t) = P_b(t-1) * (1 - \sigma) - [P_{bh}(t)/\eta_{bi} - P_{bi}(t)] \quad (3.4)$$

Persamaan Pengisian Baterai

$$P_b(t) = P_b(t-1) * (1 - \sigma) [P_{bh}(t) - P_{bi}(t)/\eta_{bb}] * \eta_{bb} \quad (3.5)$$

Dengan :

I_{pv} adalah arus panel PV

P_b adalah energi baterai dalam interval waktu

P_{bh} adalah total energi yang dibangkitkan oleh

PV

array

σ adalah faktor pengosongan sendiri baterai

P_{bi} total beban pada interval waktu

η_{bb} Efisiensi baterai

Biaya Net Total Masa Kini (Total Net Present Cost)

Biaya Net Total Masa Kini (Total Net Present Cost ; NPC) adalah keluaran ekonomi yang paling utama untuk nilai suatu sistem PLTH, HOMER akan mengurutkan data hasil keluaran simulasi dan optimasi berdasar nilai NPC terendah^[2]. Total NPC dapat dihitung dengan menggunakan persamaan sebagai berikut :

$$C_{NPC} = \frac{C_{ann,tot}}{CRF(i, R_{proj})} \quad (3.6)$$

Dengan :

$C_{ann,tot}$ adalah total biaya tahunan (\$/tahun)

$CRF()$ adalah faktor penutupan modal

i adalah suku bunga (%)

R_{proj} adalah lama waktu suatu proyek

Syarat Batas Biaya Energi (Levelized Cost of Energy)

Levelized cost of energy (COE) didefinisikan sebagai biaya rata per kWh produksi energi listrik yang terpakai oleh sistem^[10]. Untuk menghitung COE, biaya produksi energi listrik

tahunan dibagi dengan total energi listrik terpakai yang diproduksi, dengan persamaan sebagai berikut :

$$COE = \frac{C_{ann,tot} - C_{boiler} E_{thermal}}{E_{prim,AC} + E_{prim,DC} + E_{def} + E_{grid,sales}} \quad (3.7)$$

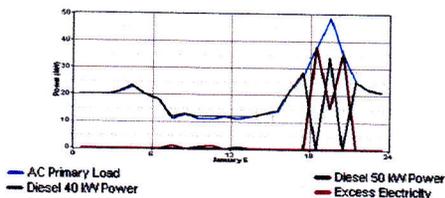
Dengan :

- $C_{ann,tot}$ adalah biaya total sistem tahunan (\$/tahun)
- C_{boiler} adalah margin biaya boiler (\$/kWh)
- $E_{thermal}$ adalah Total beban thermal yang terpenuhi (kWh/tahun)
- $E_{prim,AC}$ adalah beban AC utama yang terpenuhi (kWh/tahun)
- $E_{prim,DC}$ adalah beban DC utama yang terpenuhi (kWh/tahun)
- E_{def} adalah beban deferrable yang terpenuhi (kWh/tahun)
- $E_{grid,sales}$ adalah total penjualan grid (kWh/tahun)

3 HASIL SIMULASI DAN PEMBAHASAN

3.1 Kondisi Awal (PLTD)

Total produksi listrik yang dihasilkan oleh PLTD kapasitas 40 kW dan 50 kW adalah 181.040 kWh/tahun, kontribusi PLTD kapasitas 40 kW sebesar 148.798 kWh/tahun atau 82% dan kontribusi sebesar 32.2421 kWh/tahun atau 12% oleh PLTD 50 kW.



Gambar 5 Kondisi beban harian – daya keluaran PLTD 40 kW dan 50 kW -kelebihan listrik yang tidak terpakai

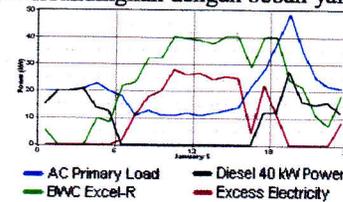
Total BBM yang dikonsumsi oleh sistem ini selama 1 tahun adalah 75.332 liter, konsumsi oleh PLTD 40 kW sebesar 82% atau 62.892 liter, sedangkan sisanya sebesar 12% atau 12.440 dikonsumsi oleh PLTD 50 kW. Kelebihan listrik yang terdapat pada sistem ini adalah sebesar 1.314 kWh pertahun atau sekitar 0,73%. Kelebihan listrik ini adalah selisih total produksi energi listrik selama satu tahun yang dihasilkan oleh kedua PLTD dan total beban yang disuplai. Modal awal yang diinvestasikan untuk sistem ini sangat murah yaitu sebesar \$ 49.000, biaya pengoperasian sebesar \$ 85.861 pertahun, nilai bersih sekarang (NPC) sebesar \$ 965.552 dan biaya listrik (COE) sebesar \$ 0,503 per kWh.

3.2 Kondisi Kedua (PLTH)

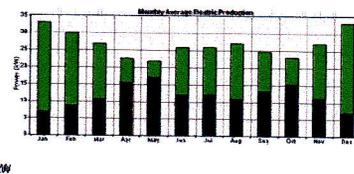
Total produksi listrik yang dihasilkan oleh PLTB - PLTD adalah 234.465 kWh/tahun dengan kontribusi PLTB sebesar 57% atau 133.062 kWh/tahun sedangkan kontribusi PLTD sebesar 43% atau 101.402 kWh/tahun.

Gambar 6 adalah kondisi suplai listrik pada tanggal 5 januari 2009, kelebihan listrik yang tidak

terpakai pada sistem ini cukup besar yaitu 44,984 kWh pertahun atau 19,2%, hal ini terjadi karena listrik yang diproduksi oleh PLTB selama satu tahun berlebihan dibandingkan dengan beban yang ada.

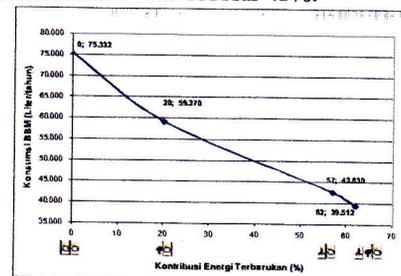


Gambar 6 Kondisi beban harian – daya keluaran PLTB - PLTD 40 kW -kelebihan listrik yang tidak terpakai



Gambar 7 Kontribusi PLTB - PLTD

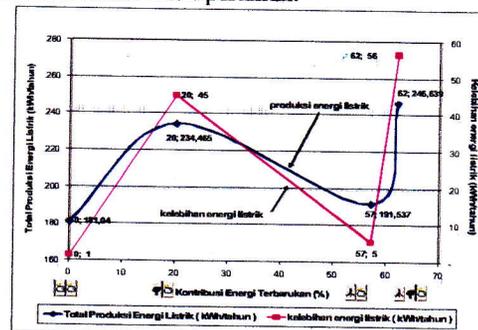
Gambar 7 menunjukkan kontribusi masing-masing pembangkit. Kontribusi PLTB sebesar 57% dan kontribusi PLTD sebesar 43%.



Gambar 8 Konsumsi BBM Diesel 40 kW

Pada gambar 8 konsumsi BBM pada konfigurasi sistem PLTH terdiri dari PLTB-PLTD adalah sebesar 42.630 liter pertahun. Pada konfigurasi ini penggunaan BBM bisa dihemat sebesar 32.702 liter pertahun atau 43,4 % pertahun.

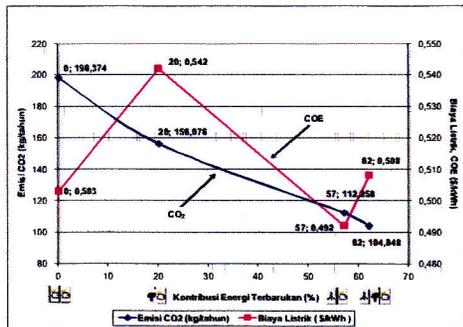
Dengan beban harian yang tetap, kelebihan listrik terbesar terjadi pada sistem PLTH yang terdiri dari PLTS-PLTB-PLTD sebesar 22,9% atau 56.496 kWh pertahun dengan total produksi energi listrik sebesar 246.639 kWh pertahun.



Gambar 9 Kelebihan energi listrik – kontribusi ET – total produksi energi listrik PLTH

Secara keseluruhan Sistem yang optimal adalah sistem PLTH yang terdiri dari PLTB-PLTD, biaya – biaya yang didapatkan dari hasil simulasi adalah sebagai berikut : modal awal yang diinvestasikan sebesar \$ 259.445, biaya pengoperasian sebesar \$ 64.124 pertahun, nilai bersih sekarang (NPC) sebesar \$ 943.957, biaya listrik (COE) sebesar \$ 0,492 per kWh. Pada sistem ini biaya investasi awal tinggi namun selama 25 tahun biaya bahan bakar dapat dikurangi sebesar 32.702 liter pertahun atau 43,4 %.

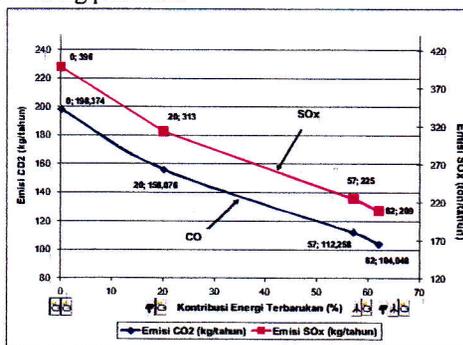
Merujuk pada gambar 10, nilai emisi CO₂ semakin turun ketika kontribusi ET meningkat. Sedangkan nilai COE berfluktuasi terhadap perubahan nilai kontribusi ET.



Gambar 10 Emisi CO₂ – Kontribusi energi terbarukan – Biaya Listrik

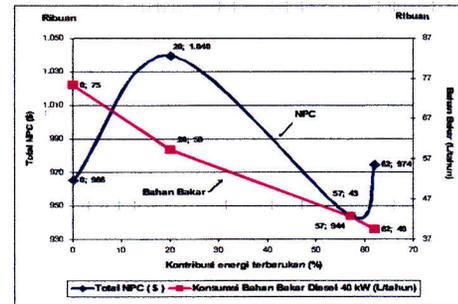
Dampak Lingkungan (emisi)

Pada garis emisi CO₂, nilai tertinggi terjadi ketika kontribusi ET 0% dengan nilai emisi CO₂ adalah 198 ton pertahun. Nilai emisi CO₂ menjadi 104 ton pertahun ketika kontribusi ET 62% berkurang sebanyak 47,5% atau 94 ton pertahun. Hal yang sama juga terjadi pada garis emisi SO_x, ketika kontribusi ET 0% nilai emisi SO_x adalah 398 kg pertahun. Nilai emisi SO_x menjadi 209 kg pertahun ketika kontribusi ET 62% berkurang sebanyak 47,5% atau 189 kg pertahun.



Gambar 11 Emisi CO₂ – Kontribusi energi terbarukan – Emisi SO_x

Secara keseluruhan kondisi yang optimum berdasarkan simulasi dengan perangkat lunak HOMER adalah pada harga nilai bersih sekarang (NPC) terendah.



Gambar 12 NPC – Konsumsi Bahan Bakar

6. KESIMPULAN

Secara keseluruhan dalam studi kasus ini, sistem PLTH yang optimal adalah kombinasi dari PLTB-PLTD. Kontribusi PLTB terhadap sistem PLTH sebesar 57% sedangkan kontribus PLTD sebesar 43%. Konfigurasi ini ditetapkan sebagai yang paling optimal berdasarkan nilai NPC terendah yaitu sebesar \$ 259.445 dan biaya listrik (COE) sebesar \$ 0,492 per kWh. Kelebihan energinya selama setahun sebesar 44.984 kWh.

Dampak lingkungan dapat dikurangi dengan menerapkan sistem PLTB-PLTD, emisi CO₂ yang dihasilkan pada sistem ini adalah sebesar 112 ton pertahun, terjadi penurunan jumlah emisi CO₂ sebesar 86 ton pertahun atau 43,4% dari kondisi awal dengan jumlah emisi CO₂ sebesar 198 ton pertahun. Konsumsi BBM PLTD 40 kW pada sistem PLTB-PLTD adalah 42.630 liter pertahun, terjadi penghematan pemakaian BBM sebesar 32.702 liter pertahun atau 43,4 % dari pemakaian BBM PLTD 40 kW pada kondisi awal yaitu sebesar 75.332 liter pertahun.

DAFTAR REFERENSI

- [1] Wiryawan, B., Yulianto I., Susanto, A. H. (2006). *Profil Sumberdaya Pulau Sebesi, Kecamatan Rajabasa, Lampung Selatan*. United State of America. Penerbitan Khusus Proyek Pesisir, Coastal Resources Center, University of Rhode Island, Narragansett, Rhode Island
- [2] Gilman, P., Lambert, T. (2005). *Homer (Version 2.67) [Computer software]*. United State of America. National Renewable Energy Laboratory of United States Government.
- [3] Apriansyah. (2009). *Laporan Data Beban Harian Pulau Sebesi* : PT. PLN (Persero) Wilayah Lampung Cabang Tanjung Karang Ranting Kalianda Wind speed for Sebesi Island. (2009). <http://www.weatherbase.com>
- [4] NASA Surface meteorology and Solar Energy. (2009). <http://eosweb.larc.nasa.gov>.
- [5] Gilman, P., Lambert, T. (2005). *Homer the micropower optimization model software started guide*. National Renewable Energy Laboratory of United States Government
- [6] Solar electric supply. (2009). *Product and*

- Price for solar panel solarex MSX-60.*
http://www.solarelectricsupply.com/Solar_Panels/Solarex/MSX-60.html
- [7] Bergey wind power. (December 5,2008). *Product and price for wind turbin.*
<http://bergeywindpower.com/7.5 kW.htm>.
- [8] Powers City System Co.,Ltd. (Copyright 2007-2010). *Product and price deutz power supply.* http://www.powerscity.com/32_Deutz-diesel-engine-TD226B-4D--Stamford-alternator.html
- [9] Affordable solar store. (2009). *Price of trojan battery L-16P, 6 volt 390 A.*
<http://www.affordablesolar.com/trojan.battery.116p.390ah.htm>
- [10] SMA America corp. (2009). *product and price off grid inverter*
http://www.smaamerica.com/en_US/products/off-grid-inverters.html
- [11] Milani. N.P. (2006). *Performance optimization of a hybrid wind turbine – diesel microgrid power system. Master of Science Thesis.* North Carolina State University.
- [12] Nayar. C. , Tang. M., Suponthana. W. (2007). *An AC Coupled PV/Wind/Diesel Microgrid System Implemented in A Remote Island in The Republic of Maldives.* Paper presented at Proceedings of the AUPEC Conference. Perth.
- [13] Setiawan, A.A., Nayar, C.H. (2006). *Design of Hybrid Power System for a Remote Island in Maldives.* Department of Electrical and Computer Engineering Curtin University of Technology. Australia.