



Optimasi Sistem Hibrid PV-Diesel Untuk Mengurangi Penggunaan Bahan Bakar Di Desa Tagalaya, Pulau Tagalaya, Halmahera Utara

Leony Ariesta Wenno¹, Marson James Budiman², Deitje S. Pongoh³, Fitria Claudya Lahinta⁴, Dwars Soukotta⁵, Adelaida Joroh

^{1,2,3,4}Jurusan Teknik Elektro, Politeknik Negeri Manado, Manado, Indonesia

⁵Jurusan Teknik Sipil, Politeknik Negeri Manado, Manado, Indonesia

⁶Jurusan Administrasi Bisnis, Politeknik Negeri Manado, Manado, Indonesia

e-mail: *leonywenno@elektro.polimdo.ac.id, marsonbudi@elektro.polimdo.ac.id,
pongohdeitje@gmail.com, fclahinta@elektro.polimdo.ac.id, dwars.soukotta@polimdo.ac.id,
jorohadelaida84@gmail.com

Abstrak

Pulau Tagalaya di Halmahera Utara merupakan salah satu pulau di Indonesia yang menggunakan energi hibrid diesel dan solar sel (PV) untuk memenuhi kebutuhan listrik penduduk desa. Pemda Kabupaten Halmahera Utara tidak memungut biaya pemeliharaan sistem karena rendahnya pendapatan warga. Hal ini dikarenakan mayoritas penduduknya adalah nelayan, buruh, dan petani. Oleh karena itu biaya pengoperasian sistem harus rendah. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengoptimalkan pemakaian bahan bakar pada sistem PV-diesel hybrid dengan beban *weekday* dan *weekend* untuk menekan biaya bahan bakar dengan menggunakan metode *Particle Swarm Optimization* (PSO).

Studi ini dibagi menjadi dua skenario, yaitu skenario *diesel only* dan skenario PV-diesel. Pada skenario diesel saja, dengan iuran wajib penduduk adalah Rp 50.400.000,00 dalam satu tahun dan total biaya bahan bakar per tahun adalah Rp 48.639.000,00, menyebabkan sisa biaya yang ditanggung penduduk desa Tagalaya hanya 3,49% dari iuran desa. Dalam skenario kedua hibrid PV-diesel, total biaya konsumsi bahan bakar tahunan adalah Rp0,00. Dari biaya utilitas dan total biaya konsumsi bahan bakar dalam skenario tersebut, penduduk desa Tagalaya bisa memiliki sisa biaya sebesar 100% dari pembayaran iuran desa.

Kata kunci - Optimasi bahan bakar, PSO, sistem hibrid PV-diesel, pendapatan warga, biaya konsumsi bahan bakar, *weekday*, *weekend*.

Abstract

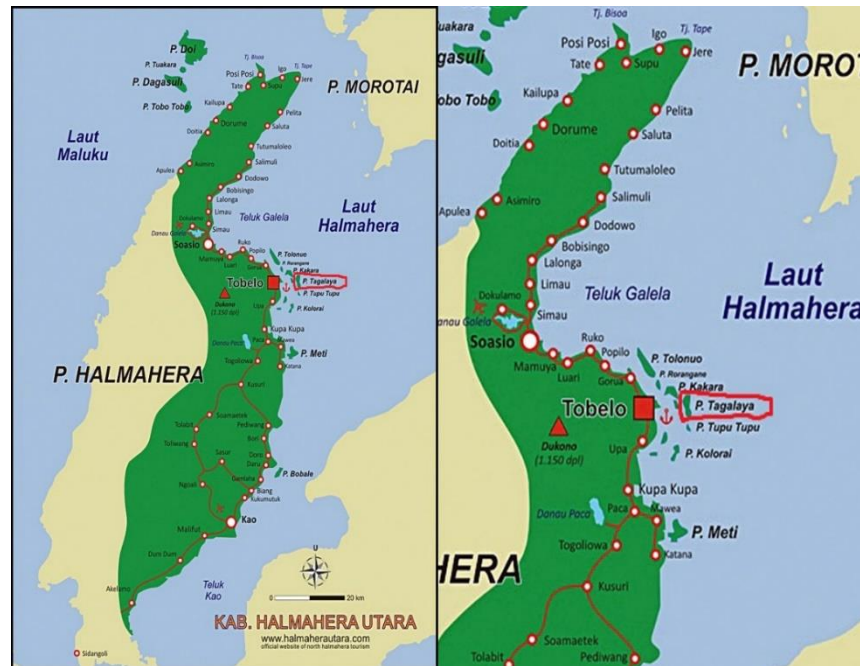
Tagalaya Island in North Halmahera is one of the islands in Indonesia that uses hybrid diesel and solar cell (PV) energy to meet the electricity needs of the villagers. The Regional Government of North Halmahera Regency does not charge maintenance fees for the system due to the low income of the residents. This is because the majority of the population are fishermen, laborers, and farmers. Therefore the operating cost of the system must be low. The purpose of this research is to optimize fuel consumption in PV-diesel hybrid systems with *weekday* and *weekend* loads to reduce fuel costs using the *Particle Swarm Optimization* (PSO) method.

This study is divided into two scenarios, namely the *diesel-only* scenario and the *PV-diesel* scenario. In the *diesel-only* scenario, with the obligatory resident contribution of Rp. 50,400,000.00 in one year and the total fuel cost per year of Rp. 48,639,000.00, the remaining costs borne by Tagalaya villagers are only 3.49% of the village contribution. In the second scenario of the *PV-diesel* hybrid, the total annual fuel consumption cost is IDR 0.00. From the utility costs and the total cost of fuel consumption in this scenario, the residents of Tagalaya village can have a remaining cost of 100% of the payment of the village fee.

Keywords - fuel optimization, PSO, PV-diesel hybrid systems, income of the residents, fuel consumption costs, weekday, weekend.

1. PENDAHULUAN

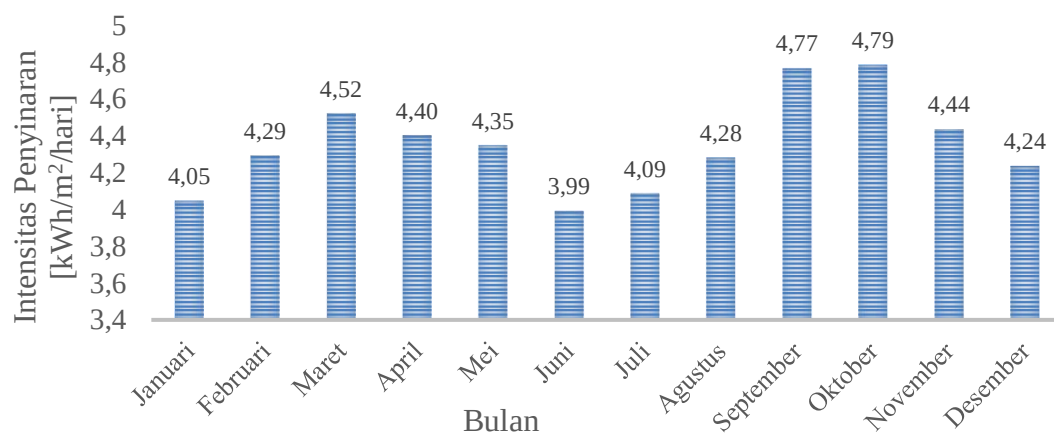
Pulau Tagalaya merupakan satu dari gugusan pulau-pulau kecil yang tersebar di depan Kota Tobelo, Halmahera Utara. Secara geografis Pulau Tagalaya terletak antara $01^{\circ} 42' 00''$ - $01^{\circ} 45' 50''$ LU dan $128^{\circ} 01' 10''$ - $128^{\circ} 03' 75''$ BT [1][2]. Gambar 1.1 menunjukkan letak Pulau Tagalaya di Kabupaten Halmahera Utara [3].



Gambar 1.1. Letak Pulau Tagalaya di Kabupaten Halmahera Utara.

1.1. Kondisi Radiasi Sinar Matahari di Pulau Tagalaya

Berdasarkan letak geografis Pulau Tagalaya, maka rata-rata intensitas penyinaran sinar matahari untuk setiap bulan di Pulau Tagalaya berdasarkan data NASA dapat kita lihat pada Gambar 1.2 [2].



Gambar 1.2. Kurva rata-rata intensitas penyinaran sinar matahari (kWh/m²/hari) untuk setiap bulan di Pulau Tagalaya.



1.2. Profil Beban Desa Tagalaya, Pulau Tagalaya

Beban di Desa Tagalaya, Pulau Tagalaya berupa beban rumah tangga. Jumlah rumah yang terpasang sebanyak 105 rumah. Kapasitas pemasangan untuk setiap rumah tangga adalah sebesar 250 VA, sedangkan 450 VA untuk fasilitas umum (Gereja, Puskesmas dan Kantor Balai Desa).

Tabel 1.1 Kesepakatan Pengaktifan Listrik Desa.

Kesepakatan Listrik Desa	Pukul
Listrik aktif pada hari kerja (<i>weekday</i>)	18.00 – 22.00 WIT
Listrik aktif pada hari minggu (<i>weekend</i>)	08.00 – 11.00, dan 18.00 – 22.00 WIT

Sumber : Sekretaris desa

Profil beban harian pada Desa Tagalaya terbagi dari dua keadaan yaitu pada hari kerja (*weekday*) dan pada hari minggu (*weekend*). Kesepakatan bersama warga untuk pengaktifan listrik Desa Tagalaya dapat dilihat pada Tabel 1.1. Pada saat *weekend* terdapat beban di pagi hari diakibatkan penggunaan fasilitas umum untuk kebaktian yaitu Gereja.

Dengan melakukan pengukuran arus pada tanggal 5 dan 6 Juli 2015 menggunakan tang ampere didapatkan beban Desa Tagalaya seperti pada Tabel 1.2 dan Tabel 1.3.

Tabel 1.2 Profil beban harian *weekday* di Desa Tagalaya, Pulau Tagalaya.

Weekday		Weekday	
Jam	Beban (kW)	Jam	Beban (kW)
1	0	13	0
2	0	14	0
3	0	15	0
4	0	16	0
5	0	17	0
6	0	18	8,008
7	0	19	7,708
8	0	20	8,360
9	0	21	7,744
10	0	22	7,779
11	0	23	0
12	0	24	0

Tabel 1.3 Profil beban harian *weekend* di Desa Tagalaya, Pulau Tagalaya.

Weekend		Weekend	
Jam	Beban (kW)	Jam	Beban (kW)
1	0	13	0



Weekend		Weekend	
Jam	Beban (kW)	Jam	Beban (kW)
2	0	14	0
3	0	15	0
4	0	16	0
5	0	17	0
6	0	18	8,008
7	0	19	7,708
8	0,246	20	8,360
9	0,246	21	7,744
10	0,246	22	7,779
11	0,246	23	0
12	0	24	0

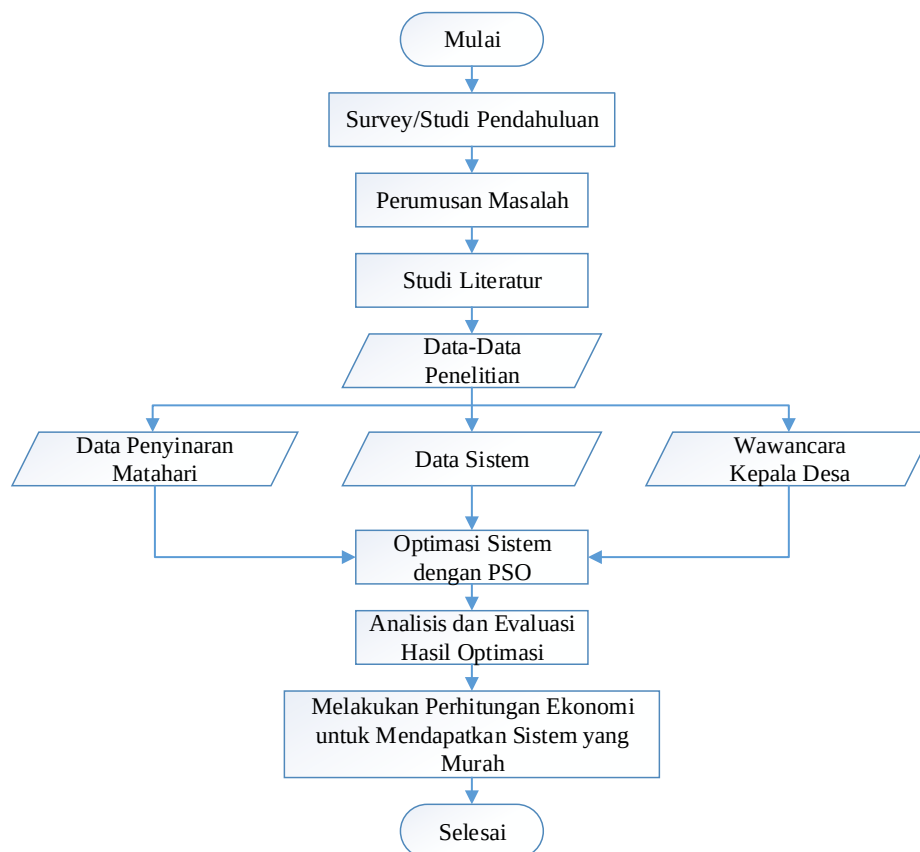
Tabel 1.2 dan 1.3 menunjukkan bahwa beban pemakaian tertinggi tercatat pada jam 20. Ini merupakan waktu dengan aktivitas masyarakat yang tinggi di Desa Tagalaya.

2. METODE PENELITIAN

2.1 Metode yang digunakan

Metode pelaksanaan yang dilakukan adalah dengan cara survey pendahuluan, perumusan masalah, studi literatur dan pengumpulan data. Pengumpulan data yang telah dilakukan bertujuan untuk mendapatkan data sistem pada buku Operasi dan pemeliharaan Pembangkit Listrik Tenaga hibrid (PLTH) Surya-Diesel [3] yang didapatkan di Instansi Dinas Kelautan dan Perikanan Kabupaten Halmahera Utara, selanjutnya juga untuk mendapatkan data penyinaran matahari di Halmahera Utara yang di dapatkan di Badan Statistika Halmahera Utara. Selain itu melakukan wawancara kepada Kepala desa dan Sekretaris desa, Desa Tagalaya sekaligus meninjau langsung keadaan sistem yang ada serta melakukan pengukuran untuk mendapatkan data beban Desa Tagalaya. Kemudian dengan bantuan perangkat lunak HOMER[4] legacy v2.68 beta trial, didapatkan data intensitas radiasi sinar matahari per jam selama setahun dari NASA Surface meteorology and Solar Energy dengan memasukkan letak astronomis wilayah desa Tagalaya.

Setelah semua data didapatkan, selanjutnya melakukan pemodelan sistem energi hybrid [5][6][7], kemudian dilanjutkan dengan melakukan optimisasi sistem energi hybrid menggunakan PSO[8][9][10][11], selanjutnya menganalisis dan mengevaluasi hasil optimisasi[12][13],. Tahap pelaksanaan kegiatan terdapat pada Gambar 2.1. Diagram alir penelitian.



Gambar 2.1. Diagram alir penelitian.

2.2 Modifikasi PSO

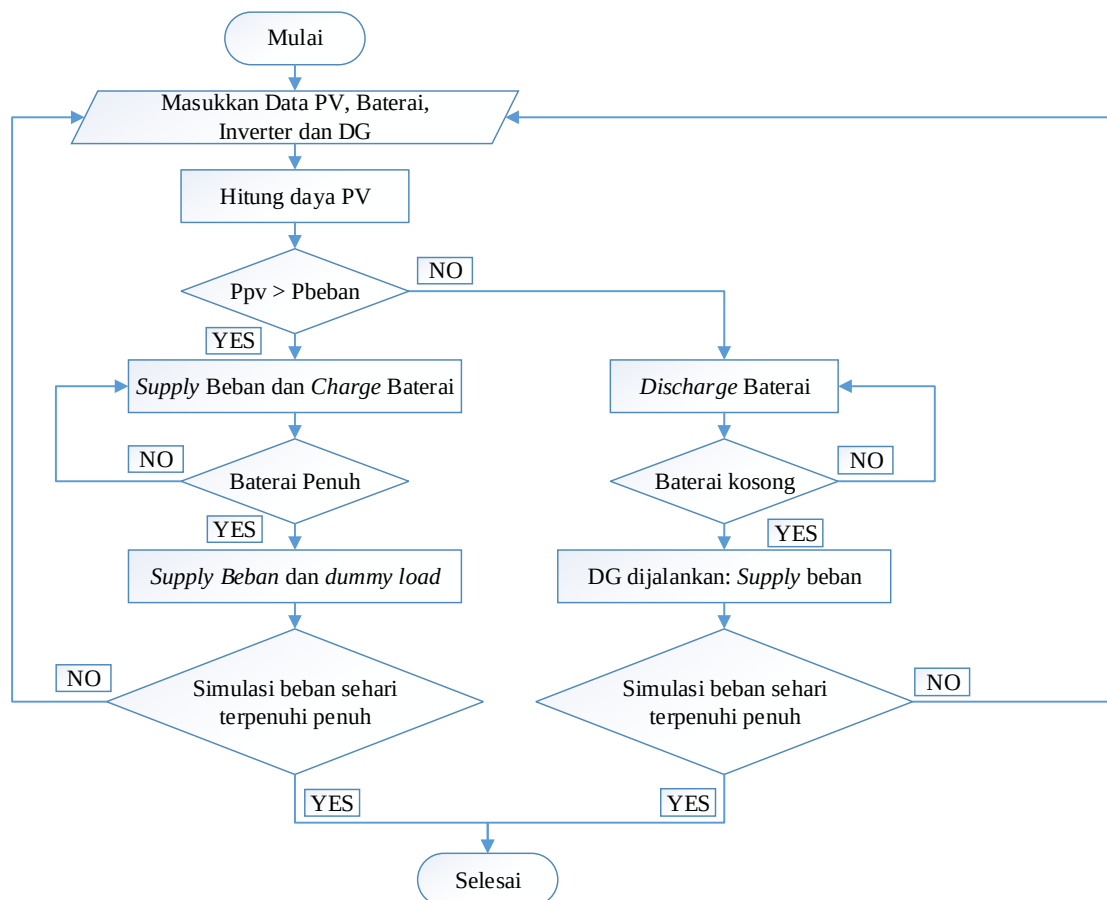
Optimasi penjadwalan sistem energi hibrid PV-diesel dengan menggunakan metode PSO yang merupakan bagian dari tahapan dalam penelitian seperti yang diperlihatkan pada Gambar 2.1 dilakukan dengan tahapan-tahapan sebagai berikut:

1. Inisialisasi populasi (N) partikel/*swarm* yang akan dibangkitkan,
2. bangkitkan partikel awal dan kecepatan partikel, dengan rentang x_a dan x_b secara random sehingga didapat $x_1, x_2, \dots, x_n$. Setelah itu, untuk mudahnya, partikel i dan kecepatannya pada iterasi k dinotasikan sebagai x_{ij}^k dan v_{ij}^k ; Pada kondisi ini PSO dimodifikasi dengan menambahkan *threshold* $\pm 5\%$ agar nilai random yang didapat pada $x_1, x_2, \dots, x_n$ tidak melebihi nilai D (jumlah beban sisa yang di tanggung generator diesel).
3. Evaluasi fungsi *fitness*, dan tentukan nilai terbaik dari partikel x_{ij}^0 yang dinyatakan sebagai p_{best}^0 pada kondisi ini dimasukkan lagi suatu logika apabila nilai g_{best}^0 yang di dapatkan $> D$ maka *False*, apabila tidak maka *True*.
4. tentukan nilai terbaik untuk semua partikel x_{ij}^0 dan nyatakan sebagai g_{best}^0 (N_{pv} , N_w , dan N_{bat}),
5. set iterasi $k = 1$,
6. perbaharui kecepatan dan posisi tiap partikel sesuai dengan Persamaan 2.2 dan 2.4, dengan membangkitkan bilangan acak r_1 dan r_2 dalam rentang $[0-1]$ dan tentukan koefisien akselerasi c_1 yang merupakan faktor skala kognitif dan c_2 yang merupakan faktor skala sosial,
7. lakukan evaluasi kekangan sesuai dengan persamaan $P_{diesel}(t) = P_{beban}(t) - (P_{pv}(t) + E_b)$,

[9] dan perbaiki partikel kemudian evaluasi fungsi *fitness*, evaluasi fungsi *fitness* dilakukan sesuai dengan simulasi yang dilakukan yaitu untuk jangka waktu satu hari ($t = 24$) dengan mempertimbangkan tiga kondisi sistem.

8. perbaharui nilai terbaik sejauh ini dari x_{ij}^k (koordinat partikel i pada koordinat j) dan nyatakan sebagai p_{best}^k , dengan nilai fungsi tujuan paling rendah (kasus minimasi),
9. perbaharui nilai terbaik untuk semua partikel x_{ij}^k yang merupakan g_{best}^k , dengan nilai fungsi tujuan paling kecil atau minimum di antara semua partikel,
10. proses optimasi PSO akan berhenti setelah mencapai iterasi maksimum yang ditetapkan, jika belum mencapai kondisi iterasi maksimum, maka ulangi langkah 6-9 untuk iterasi kedua ($k = 2$) hingga mencapai iterasi maksimum.

Diagram alir dari tahapan optimasi penjadwalan sistem energi hibrid dengan menggunakan metode PSO dapat dilihat pada Gambar 2.2.



Gambar 2.2. Proses optimasi sistem energi hibrid dengan metode PSO.

2.3 Parameter PSO

Parameter-parameter PSO yang digunakan pada penelitian ini yaitu nilai partikel/*swarm* yang akan dibangkitkan berjumlah 40 partikel, untuk mengontrol dampak dari adanya *velocity* pada setiap partikel maka perlu adanya *faktor bobot inersia*, nilai faktor bobot inersia yang digunakan yaitu 0,9 untuk faktor bobot inersia maksimum dan 0,4 untuk faktor bobot inersia minimum, koefisien akselerasi yang menunjukkan bobot dari *memory* (posisi) sebuah partikel terhadap *memory* (posisi) dari kelompok (partikel/*swarm*) dimana nilai faktor skala kognitif (c_1) dan faktor skala sosial (c_2) yang digunakan adalah



2, dan iterasi maksimum k_{max} yang digunakan adalah sebanyak 100 iterasi, seperti yang diperlihatkan pada Tabel 2.1.

Tabel 2.1. Parameter-parameter PSO yang digunakan.

Parameter	N	w_{max}	w_{min}	c_1	c_2	k_{max}
Nilai	40	0,9	0,4	2	2	100

3. PEMBAHASAN DAN HASIL

3.1 Hasil Simulasi Skenario 1

Simulasi yang dilakukan untuk skenario 1 ini merupakan kondisi dimana sistem energi hibrid terdiri dari *diesel only* yang akan melayani permintaan beban berdasarkan profil beban tabel 1.2 dan tabel 1.3.

Hasil simulasi pada sistem skenario 1 menghasilkan daya keluaran diesel sama dengan jumlah beban dalam sehari yaitu 49,5 kW untuk beban *weekday* dan 50,7 kW untuk beban *weekend*. Dengan menggunakan persamaan $P_{diesel}(t) = P_{beban}(t) - (P_{pv}(t) + E_b)$, dimana kurs 1 US dollar setara dengan Rp. 12.733,- (tahun 2015) maka didapatkan jumlah biaya konsumsi atau penggunaan bahan bakar dalam satu bulan untuk setiap bulan yang memiliki 31 hari, 30 hari dan 28 hari dapat dilihat pada tabel 3.1.

Tabel 3.1. Biaya konsumsi bahan bakar tiap bulan (*diesel only*).

Konsumsi Bahan Bakar Tiap Bulan (<i>Diesel Only</i>) dalam Rupiah			
Bulan	<i>Weekday</i>	<i>Weekend</i>	Total
Januari	Rp3.581.271,00	Rp549.347,00	Rp4.130.618,00
Februari	Rp3.183.352,00	Rp549.347,00	Rp3.732.699,00
Maret	Rp3.581.271,00	Rp549.347,00	Rp4.130.618,00
April	Rp3.448.631,00	Rp549.347,00	Rp3.997.979,00
Mei	Rp3.581.271,00	Rp549.347,00	Rp4.130.618,00
Juni	Rp3.448.631,00	Rp549.347,00	Rp3.997.979,00
Juli	Rp3.581.271,00	Rp549.347,00	Rp4.130.618,00
Agustus	Rp3.581.271,00	Rp549.347,00	Rp4.130.618,00
September	Rp3.448.631,00	Rp549.347,00	Rp3.997.979,00
Oktober	Rp3.581.271,00	Rp549.347,00	Rp4.130.618,00
November	Rp3.448.631,00	Rp549.347,00	Rp3.997.979,00
Desember	Rp3.581.271,00	Rp549.347,00	Rp4.130.618,00
Total Biaya			Rp48.638.942,00

Total biaya yang didapatkan dalam setahun untuk skenario ini adalah Rp48.638.924,00 atau Rp48.639.000,00.

3.2 Hasil Simulasi Skenario 2

Simulasi yang dilakukan untuk skenario 2 merupakan kondisi dimana sistem energi hibrid terdiri dari sistem PV dan baterai yang akan mengatasi permintaan beban dan diesel sebagai *back-up* atau cadangan daya apabila PV dan baterai tidak mampu menanggulangi beban.

Hasil simulasi pada sistem skenario 2 menghasilkan daya keluaran diesel perbulan dapat dilihat pada



Tabel 3.2 dan dengan menggunakan persamaan $P_{diesel(t)} = P_{beban(t)} - (P_{pv(t)} + E_b)$, maka jumlah biaya konsumsi bahan bakar dalam setahun pada Tabel 3.3.

Tabel 3.2. Daya keluaran diesel perbulan skenario 2.

Bulan	Weekday [kW]	Weekend [kW]
Januari - Desember	0	0

Tabel 3.3. Biaya konsumsi bahan bakar tiap bulan skenario 2.

Harga konsumsi bahan bakar tiap bulan (Rupiah)			
Bulan	Weekend	Weekday	Total
Januari – Desember	Rp0	Rp0	Rp0
Total Biaya Setahun			Rp0,00

Total biaya yang didapatkan dalam setahun untuk skenario 2 adalah Rp0 artinya keseluruhan beban mampu ditanggulangi oleh PV-baterai.

3.3 Analisis Hasil Skenario 1

Pada skenario pertama, kita dapatkan total biaya penggunaan bahan bakar diesel dalam setahun sebesar Rp48.639.000,00. Iuran wajib warga dalam satu tahun sebesar Rp50.400.000,00, maka penduduk desa akan mengalami sisa biaya sebesar Rp1.761.000,00 atau sebesar 3,49% berdasarkan iuran dikurangi penggunaan bahan bakar.

3.4 Analisis Hasil Skenario 2

Pada skenario kedua, kita dapatkan total biaya penggunaan bahan bakar diesel dalam setahun sebesar Rp0,00, jika iuran wajib warga dalam satu tahun sebesar Rp50.400.000,00 maka warga tidak perlu membayar biaya penggunaan bahan bakar, sehingga biaya iuran penduduk Desa Tagalaya dapat digunakan untuk biaya operasional (O&M) sistem.

4. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil simulasi yang telah dilakukan terhadap kedua skenario sistem energi hibrid PV-baterai-diesel, maka dapat ditarik kesimpulan sebagai berikut:

1. Pada skenario pertama, total biaya penggunaan bahan bakar diesel dalam satu tahun sebesar Rp48.639.000,00. Jika dikurangi dengan biaya iuran warga Desa Tagalaya, maka warga akan mengalami sisa biaya sebesar Rp1.761.000,00 atau sebesar 3,49% dari biaya iuran tersebut.
2. Pada skenario kedua (hibrid PV-Diesel), biaya penggunaan bahan bakar diesel dalam satu tahun sebesar Rp0,00 artinya keseluruhan beban (100%) dilayani oleh PV-baterai. Sehingga iuran penduduk Desa Tagalaya tidak akan digunakan atau saving sebesar 100%.
3. Skenario yang terbaik adalah skenario 2 (hibrid PV-Diesel). Skenario ini juga memberi keuntungan kepada penduduk Desa Tagalaya karena bisa saving biaya iuran tahunan sebesar Rp50.400.000,00. Saving biaya tersebut bisa digunakan untuk biaya O&M (*Operation & Maintenance*) sistem. Namun kedua skenario ini baik untuk dijalankan untuk kondisi tertentu.

5. SARAN

Berdasarkan hasil analisa yang telah dilakukan, perlu dilakukan studi lebih lanjut dan terupdate mengenai pengembangan sistem energi hibrid di Pulau Tagalaya, Desa Tagalaya demi meningkatkan taraf hidup masyarakat desa.



6. UCAPAN TERIMA KASIH

Ucapan terimakasih ditujukan kepada instansi Pendidikan tinggi vokasi Politeknik Negeri Manado yang terus memberikan dukungan dalam setiap kerja penelitian yang dilakukan oleh penulis. Penulis juga menyampaikan terimakasih kepada seluruh pihak lain yang telah terlibat dalam pelaksanaan pemeriksaan kegiatan ini.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Stefan Frits Pangalila, Arie S.M. Lumenta, ST.,MT. Nancy J. Tuturoong, ST., M.Kom., "E-Tourism kota Tobelo Kabupaten Halmahera Utara," in e-journal Teknik Elektro dan Komputer. 2014.
- [2] Nasa. Atmospheric Science Data Center Web site. "NASA Surface Meteorologi and Solar Energi." [Online]. Diakses dari <http://eosweb.larc.nasa.gov/sse/>. 10 Maret 2014.
- [3] PT LEN Industri (Persero), "Manual Operasi dan pemeliharaan Pembangkit Listrik Tenaga hibrid (PLTH) Surya-Diesel," Dinas Kelautan dan Perikanan Kabupaten halmahera Utara. 2008.
- [4] K. Kusakana*, J.L. Munda, and A.A. Jimoh, "Feasibility study of a hybrid PV-Micro Hydro system for rural electrification," in AFRICON, 2009. AFRICON '09. September 2009
- [5] N.A.b.A. Razak, M.M. bin Othman, and I. Musirin, "Optimal sizing and operational strategy of hybrid renewable energy system using homer," in 4th International Power Engineering and Optimization Conference (PEOCO), 2010 , Shah Alam , 2010, pp. 495 - 501
- [6] Agus Purwadi, Yanuarsyah Haroen, Muhamad Zamroni, Nana Heryana dan Agus Saryanto, "Study of Hybrid PV-Diesel Power Generation System at Sebira Island-Kepulauan Seribu," in IEEE Conference on Power Engineering and Renewable Energy 2012, 2012.
- [7] A. Elmitwall and Mohamed Rashed, "Flexible Operation Strategy for an Isolated PV-Diesel Microgrid Without Energy Storage," in IEEE TRANSACTIONS ON ENERGY CONVERSION, VOL. 26, NO. 1, MARCH 2011, Maret 2011
- [8] Singiresu S. Rao, "Engineering Optimization, Theory and Practice," New York : JohnWiley & Sons., 4th edition, 2009.
- [9] BK Bala, Saiful Azam Siddique, "Optimal design of a PV-diesel hybrid system for electrification of an isolated island—Sandwip in Bangladesh using genetic algorithm," Juli 2009.
- [10] Aris Kornelakis, "Multiobjective Particle Swarm Optimization for the optimal design of photovoltaic grid-connected systems," in Solar Energy, vol. 84, no. 12, December 2010, pp. 2022–2033.
- [11] J. Kennedy and R. Eberhart, "Particle swarm optimization," in IEEE International Conference on Neural Networks, 1995. Proceedings., vol.4, Perth, WA, 1995, pp. 1942 – 1948.
- [12] M.S. Ismail, M. Moghavvemi, T.M.I. Mahlia, "Techno-economic analysis of an optimized photovoltaic and diesel generator hybrid power system for remote houses in a tropical climate," in Energy Conversion and Management 69 (2013) 163–173. Februari 2013.
- [13] Henerica Tazvinga, Xiaohua Xia, Jiangfeng Zhang, "Minimum cost solution of photovoltaic–diesel–battery hybrid power systems for remote consumers," in Solar Energy 96 (2013) 292–299. Agustus 2013.