

Tenaga Hibrid (Angin dan Surya) di Pantai Baru Pandansimo Bantul Yogyakarta

Tri Suhartanto¹

Abstract— Renewable energy sources is a solution of alternative energy to overcome the electricity crisis in Indonesia. Hybrid Power Plant at Baru Padansimo beach, Bantul, Yogyakarta, is the pilot project of Hybrid energy based on potentials of solar energy and wind power which used as models in the development of renewable energy in integrated manner through Regional Inovation System. Performance of a hybrid power system can be evaluated from reliability system and economic aspects. In general, integration on Hybrid Power Plant system is a multivariable system, so to model the hybrid system, a 2.68 version of HOMER (Hybrid Optimization Model for Electric Renewables) software is needed. This software optimizes the design of Hybrid Power Plant system based on the lowest NPC value with estimated measurements or system capacity and costs as outputs. Pandansimo Hybrid Power Plant system configuration consists of PLTS and PLTB. The analysis of Pandansimo Hybrid Power Plant system is done through two systems modeling Off-Grid and On-Grid. First, the results of the analysis indicate that the Hybrid Power Palnt system is feasible in meeting the needs of users of electrical energy based on the total net present value (NPC) of U.S. \$ 307,302, generating cost (COE) of U.S. \$ 0.872 per kWh, electricity production capacity of 121, 239 kWh per year, and the excess of electricity during the year amounted to 94 705 kWh. Second, the configuration of Hybrid Power Plant system On-Grid can improve the effectiveness of Pandansimo Hybrid Power Plant in the utilization of renewable energy sources as to reduce the NPC to U.S. \$ 253,850, at a cost of U.S. \$ 0.720 COE. The ability of selling electricity at 94,705 kWh per year. Configuration system to grid can also reduce network's CO2 emissions by 31,557 pounds per year.

Intisari—Sumber energi terbarukan merupakan solusi energi alternatif dalam mengatasi krisis energi listrik di Indonesia. Pembangkit Listrik Tenaga Hibrid (PLTH) di Pantai Baru Pandansimo Bantul Yogyakarta merupakan *pilot project* energi hibrid berbasis pada potensi energi surya dan kekuatan angin yang dijadikan model dalam pengembangan energi terbarukan secara terintegrasi melalui Sistem Inovasi Daerah (SIDa). Kinerja sebuah sistem pembangkit hibrid dapat ditinjau dari segi keandalan sistem dan ekonomi. Secara menyeluruh, integrasi pada sistem PLTH merupakan sistem yang multivariable sehingga untuk memodelkan sistem hibrid digunakan bantuan perangkat lunak, dalam hal ini HOMER (Hybrid Optimization Model for Electric Renewables) versi 2.68. Perangkat lunak ini mengoptimasi desain sistem pembangkit hibrid berdasarkan nilai NPC terendah dengan *output* estimasi ukuran atau kapasitas sistem, dan biaya. Konfigurasi sistem PLTH Pandansimo terdiri dari PLTS dan PLTB. Analisis sistem

PLTH Pandansimo dilakukan melalui dua pemodelan sistem *Off-Grid* dan *On-Grid*. Pertama, hasil analisis menunjukkan bahwa sistem PLTH *Off-Grid* layak dalam memenuhi kebutuhan pengguna energi listrik berdasarkan total nilai bersih sekarang (NPC) sebesar US\$ 307.302, biaya pembangkitan (COE) sebesar US\$ 0,872 per kWh, kapasitas produksi listrik yang dihasilkan sebesar 121.239 kWh pertahun, dan memiliki kelebihan tenaga listrik selama setahun sebesar 94.705 kWh. Kedua, konfigurasi sistem PLTH *On-Grid* mampu meningkatkan efektifitas PLTH Pandansimo dalam pemanfaatan sumber energi terbarukan sehingga dapat menurunkan NPC menjadi US\$ 253.850, dengan biaya COE sebesar US\$ 0,720. Kemampuan menjual energi listrik pertahun sebesar 94.705 kWh. Konfigurasi sistem ke *Grid* juga dapat menurunkan emisi CO₂ jaringan sebesar 31.557 kg pertahun.

Keywords— Energi terbarukan, Hibrid, Surya, Angin, HOMER.

I. PENDAHULUAN

Ketersediaan sumber energi tak terbarukan berupa energi fosil yang semakin berkurang merupakan salah satu penyebab terjadinya krisis energi dunia. Fenomena ini juga berdampak pada sektor energi listrik dunia yang menuju ambang kritis dikarenakan pemenuhan energi listrik sebagian besar masih disuplai dari pembangkit tenaga listrik yang menggunakan energi fosil.

Dengan mempertimbangkan rasio elektrifikasi di Indonesia sampai dengan tahun 2012 sebesar 75,83 % [1] dan Blue Print Pengelolaan Energi Nasional 2005-2025 yang memberikan sasaran peningkatan pencapaian energi baru terbarukan pada tahun 2025 menjadi 5 % [2], maka perlu upaya melakukan diversifikasi energi pada pembangkit tenaga listrik dengan memprioritaskan pemanfaatan energi baru terbarukan secara optimal dengan tetap memperhatikan aspek teknis, ekonomi, dan keselamatan lingkungan hidup, sehingga sumber energi baru terbarukan dapat dijadikan sebagai solusi energi alternatif dalam mengatasi krisis energi listrik di Indonesia.

Pertumbuhan ekonomi dan permintaan kebutuhan akan tenaga listrik yang terus meningkat perlu diimbangi dengan usaha penyediaan tenaga listrik yang mencukupi. Usaha penyediaan tenaga listrik meliputi usaha pembangkitan, transmisi, distribusi dan penjualan tenaga listrik [3]. Ketersediaan suplai tenaga listrik secara kontinyu dengan mutu yang baik dan memenuhi standar keselamatan ketenagalistrikan sangat diperlukan guna mewujudkan sistem ketenagalistrikan nasional yang berkelanjutan, andal, aman dan akrab lingkungan.

¹ Jurusan Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral, Jl. H.R. Rasuna Said Blok X-2, Kav.07 dan 08 Kuningan, Jakarta Kode Pos : 12950, mastrik_s@yahoo.co.id

Letak geografis Pantai Pandansimo di pesisir selatan Pulau Jawa memiliki potensi energi terbarukan dari sumber energi matahari yang bersinar sepanjang hari dan energi angin dengan intensitas kecepatan angin rata-rata 4 m/s [4]. Kondisi ini cukup layak untuk dimanfaatkan sebagai sumber energi hibrid. Hal ini telah diimplementasikan melalui pembangunan PLTH Pandansimo yang merupakan hasil kerjasama dari Pemerintah, pihak swasta, pihak perguruan tinggi, dan masyarakat sekitar. Pengembangan PLTH ini dilatarbelakangi adanya upaya pemanfaatan energi terbarukan untuk mewujudkan daerah mandiri energi. Adanya PLTH telah membuat daya tarik bagi Pemerintah DIY untuk mengembangkan objek wisata di Pantai Baru Pandansimo Bantul dan pemberdayaan masyarakat nelayan dalam meningkatkan perekonomian.

Pada tahun 2012 telah terjadi gangguan alam yang mengakibatkan kerusakan pada beberapa komponen sistem PLTH, sehingga mempengaruhi kinerja sistem dalam memanfaatkan potensi energi terbarukan untuk menghasilkan energi listrik. Hal ini sangat berdampak bagi masyarakat pengguna energi listrik yang mengandalkan suplai listrik dari PLTH Pandansimo, adanya sistem jaringan distribusi tegangan rendah milik PT PLN (Persero) yang telah masuk dalam Kawasan Wisata Pandansimo diharapkan dapat memberikan dampak positif bagi keberlangsungan sistem PLTH Pandansimo. Berdasarkan latar belakang permasalahan di atas, penulis ingin melakukan penelitian mengenai Analisis Kinerja Sistem Pembangkit Listrik Tenaga Hibrid (Angin dan Surya) di Pantai Baru Pandansimo Bantul Yogyakarta.

II. METODE PENELITIAN

Evaluasi ekonomis dan teknis pemanfaatan energi terbarukan dapat dilakukan melalui berbagai cara dengan pendekatan yang berbeda. HOMER (*Hybrid Optimization Model for Electric Renewable*) merupakan model komputer yang dikembangkan oleh USA National Renewable Energy Laboratory (NREL) telah digunakan untuk membandingkan kinerja sistem hibrid berdasarkan *Net Present Cost* (NPC), *Cost of Energy* (COE), fraksi terbarukan (RF), dan Emisi gas rumah kaca [5]. Kelayakan sistem hibrid dapat ditentukan berdasarkan nilai NPC dan COE [6 7 8]. Dalam penelitian ini Metode yang digunakan adalah melakukan analisis sistem PLTH Pandansimo ditinjau dari kinerja sistem melalui pemodelan dan simulasi dengan bantuan perangkat lunak HOMER untuk mendapatkan nilai NPC dan COE sebagai parameter peningkatan kinerja dan kelayakan sistem. Data yang digunakan dalam simulasi ini berupa data yang digunakan PLTH Pandansimo.

A. Profil PLTH Pandansimo

PLTH Pandansimo merupakan *pilot project* energi hibrid yang berbasis pada potensi panas matahari dan kekuatan angin untuk dijadikan model dan pengembangan energi terbarukan secara terintegrasi melalui suatu Sistem Inovasi Daerah (SIDa). Pengembangan PLTH Pandansimo diarahkan untuk

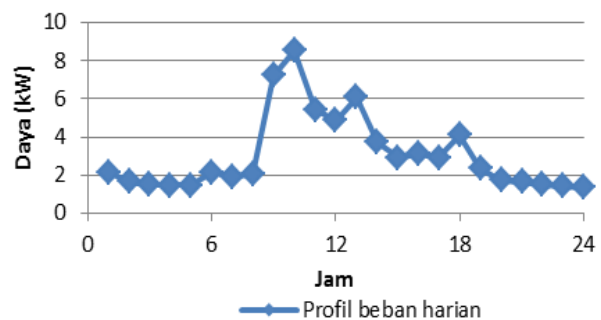
membentuk Industri Kecil Menengah (IKM) yang mampu memproduksi suku cadang pembangkit hibrid dalam memenuhi kebutuhan energi hibrid yang dapat meningkatkan perekonomian masyarakat di Kawasan Wisata Pantai Baru Pandansimo Bantul Yogyakarta. Secara geografis lokasi PLTH Pandansimo terletak pada posisi $7^{\circ}59'13.54''$ S dan $110^{\circ}13'20.76''$ E. Posisi PLTH Pandansimo dapat dilihat pada Gbr. 1.



Gbr. 1 Lokasi PLTH Pandansimo

B. Profil Beban

Beban utama harian disini berupa beban untuk konsumsi masyarakat nelayan di Kawasan Wisata Pantai Baru Pandansimo. Sebagian besar beban yang digunakan adalah lampu penerangan, peralatan listrik yang ada di warung kuliner dan kantor pengelola PLTH Pandansimo. Selain itu energi listrik juga dimanfaatkan untuk produksi es bagi warga yang mayoritas berprofesi sebagai nelayan. Profil beban harian di Kawasan Wisata Pantai Baru Pandansimo dapat dilihat pada Gbr. 2.



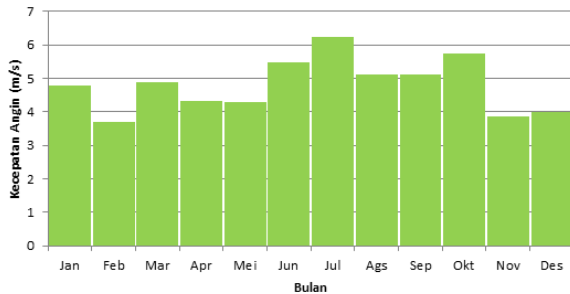
Gbr. 2 Profil Beban Harian

Beban listrik yang digunakan dalam pemodelan sistem memiliki rata-rata beban listrik sebesar 3,03 kW dengan konsumsi rata-rata energi listrik yang digunakan sebesar 72,7 kWh perhari. Beban puncaknya yang mungkin terjadi adalah sebesar 14,5 kW dalam satu tahun

C. Potensi Sumber Energi

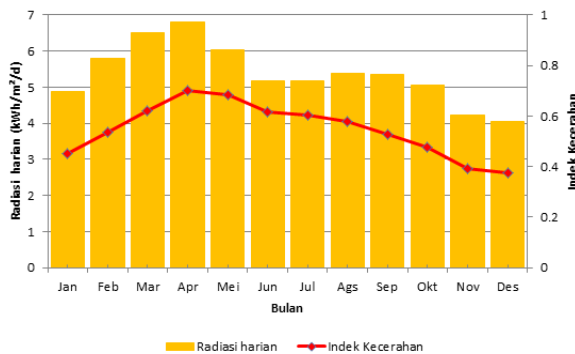
Ketersediaan sumber energi terbarukan di lokasi pembangkit merupakan faktor penting untuk menghasilkan listrik pada sistem hibrid. Sumber energi terbarukan yang dapat dimanfaatkan secara efektif oleh komponen peralatan PLTH Pandansimo adalah sebagai berikut:

1) *Potensi Energi Angin* : Berdasarkan data potensi angin yang didapat dari data *logger* Anemometer di lokasi Pembangkit, rata-rata kecepatan angin di lokasi PLTH Pandansimo diukur pada ketinggian 15 meter dari permukaan tanah adalah 4.7 m/s. Data kecepatan angin di lokasi pembangkit selama satu tahun dapat dilihat pada Gbr. 3.



Gbr. 3 Kecepatan angin

2) *Potensi Energi Panas Matahari* : Data yang diperlukan HOMER untuk melakukan optimasi pada sistem PLTH Pandansimo adalah *Clearness Index* dan radiasi harian matahari (*daily radiation*, kWh/m²/d) selama satu tahun. Dari data potensi energi matahari untuk lokasi PLTH Pandansimo didapatkan indeks kecerahan rata-rata sebesar 0,540 dan *daily radiation* rata-rata sebesar 5,368 kWh/m²/d [9]. seperti yang ditunjukkan pada Gbr. 4 berikut.



Gbr. 4 Indeks Kecerahan dan Radiasi Sinar Matahari

D. Komponen Sistem Pembangkit

PLTH Pandansimo terdiri dari dua grup pembangkitan yaitu Grup Barat dan Grup Timur, tiap grup pembangkit terdiri atas komponen PLTB dan PLTS dengan kapasitas yang berbeda. Data teknis dari PLTH Pandansimo yang akan disimulasikan terdiri dari panel surya (PV), turbin angin (WG), baterai (BAT), dan inverter (INV). Sedangkan data ekonomis yang dipakai adalah biaya Modal (M), biaya penggantian (R), biaya operasi dan perawatan (O&M) [10]. Rincian data teknis dan ekonomis sistem dapat dilihat pada Tabel I.

TABEL I

DATA TEKNIS DAN EKONOMIS KOMPONEN SISTEM PLTH PANDANSIMO

Komponen Pembangkit				Biaya		
Nama	Grup	Kapasitas (kW)	L (th)	M (\$)	R (\$)	O&M (\$)
PV	Barat	15	25	76.184	9.937	1.987
	Timur	2	25	14.851	1.325	265
WG	Barat	20	10	80.049	1.767	265
		10	20	4.950	88	13
	Timur	15	15	4.158	530	79
INV	Barat	15	8	8.391	8.391	66
	Timur	10	8	22.082	2.2082	66
BAT	Barat	-	3	17.390	177	106
	Timur	-	10	4.969	44	26

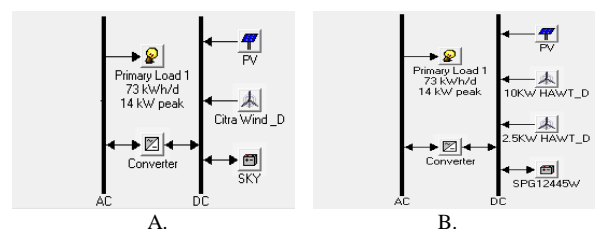
1) *Grid dan Emisi* : Grid merupakan jaringan penyedia listrik PT PLN (Persero), untuk sistem yang terhubung dengan *grid*, besarnya energi listrik yang mampu dihasilkan oleh sistem atau kelebihan daya listrik yang dimiliki oleh sistem PLTH akan dibeli oleh *Grid*. Mekanisme yang dapat dilakukan adalah kontrak kWh. Besarnya harga listrik yang wajib dibeli oleh *grid* dari PLTH adalah sebesar US\$ 0,091 [11]. Sedangkan harga beli listrik dari *grid* oleh pelanggan adalah US\$ 0,122 [12], sesuai dengan tarif yang diberlakukan oleh Pemerintah. Batasan karbon dioksida yang diijikan untuk *grid* sebesar 0,714 ton/MWh [13].

2) *Ekonomi dan pengaturan* : Suku bunga tahunan pada proyek PLTH sebesar 5,61%, *cycle charging* dengan *setpoint states of charge* sebesar 80 % dan *maximum annual capacity shortage* sebesar 0,4%.

E. Pemodelan dan Simulasi

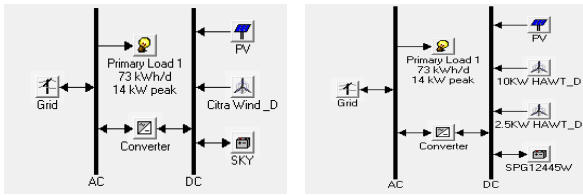
Pemodelan sistem PLTH dengan sumber energi terbarukan dapat dilakukan melalui pemodelan komputer. HOMER digunakan sebagai alat bantu untuk pemodelan pada energi terbarukan dengan mempertimbangkan antara kebutuhan beban dan sumber energi yang tersedia [14]. HOMER mampu memodelkan sistem pembangkit skala kecil yang optimal, dan evaluasi sistem pada kondisi *Off-Grid* maupun *On-Grid* [5]. Kelayakan teknis dari sistem dapat ditentukan melalui simulasi menggunakan HOMER yang didasarkan pada konfigurasi sistem yang tepat [15]. Konfigurasi sistem dalam penelitian ini akan dimodelkan menggunakan HOMER melalui dua skenario yang berbeda dengan konfigurasi sistem yang sama.

1) *Skenario pertama* : sistem PLTH Pandansimo dikondisikan *Off-Grid*. Pemodelan sistem dapat dilihat pada Gbr. 5.



Gbr. 5 Model Sistem PLTH *Off-Grid*: A) Grup Barat, B) Grup Timur

2) Sedangkan pada skenario kedua : merupakan sistem PLTH Pandansimo *On-Grid*. Pemodelan sistem dapat dilihat pada Gbr. 6.



Gbr. 6 Model Sistem PLTH *On-Grid*: A) Grup Barat, B) Grup Timur

III. HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil simulasi yang ditampilkan HOMER merupakan konfigurasi sistem yang mungkin atau layak dengan mengurutkan daftar berdasarkan efektivitas biaya sekarang (NPC). Analisis kinerja dan ekonomi sistem PLTH Pandansimo dilakukan untuk mendapatkan data kinerja sistem dalam memenuhi kebutuhan beban dan peningkatan kinerja ekonomi sistem serta kontribusi sistem PLTH Pandansimo terhadap *grid* dan lingkungan.

A. Validasi Simulasi PLTH dengan HOMER

Validasi HOMER dalam pemodelan dan simulasi dapat dilakukan melalui percobaan langsung atau merujuk berdasarkan penelitian validasi HOMER yang telah dilakukan oleh beberapa peneliti. Dalam penelitian ini validasi merujuk pada penelitian yang telah dilakukan. Validasi mengenai kemampuan perangkat lunak HOMER untuk melakukan pemodelan telah dibuktikan oleh Bradon [16], melalui dua percobaan pada sistem skala kecil dengan membandingkan hasil pemodelan HOMER dengan hasil pengukuran langsung. Hal ini juga dibuktikan dalam penelitian optimasi desain sistem hibrid pada Rumah Sakit Mercy [17] dalam penelitian ini validasi HOMER dilakukan dengan membandingkan biaya operasi hasil prediksi perangkat lunak HOMER dan Hybrid2 dengan biaya operasi sebenarnya dari Rumah Sakit Mercy. Dari dua penelitian tersebut, maka dapat dibuktikan bahwa pemodelan menggunakan HOMER valid dan dapat digunakan untuk pemodelan dalam penelitian.

B. Analisa sistem PLTH Pandansimo

Hasil simulasi yang dianalisa dari pemodelan sistem PLTH Pandansimo *Off-Grid* dan *On-Grid* adalah produksi listrik, biaya listrik, dan kelebihan listrik yang tidak terserap oleh beban. Berikut analisa untuk kedua skenario yang disimulasikan menggunakan HOMER.

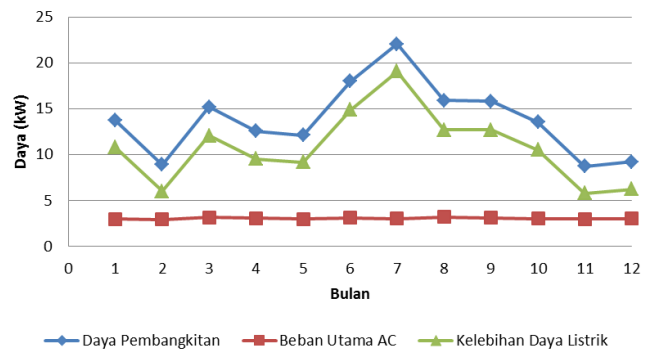
1) *Kinerja sistem PLTH Pandansimo Off-Grid* : Hasil pemodelan dan simulasi menggunakan HOMER untuk PLTH Pandansimo *Off-Grid* didapatkan bahwa sistem secara

keseluruhan menghasilkan energi listrik sebesar 121.239 kWh pertahun, kontribusi PLTS sebesar 26.444 kWh pertahun atau 22% dan kontribusi sebesar 94.795 kWh pertahun atau 78% oleh PLTB, dengan total keseluruhan konsumsi beban sebesar 26.535 kWh pertahun. Rangkuman kinerja komponen PLTH Pandansimo *Off-Grid* dapat dilihat pada Tabel II.

TABEL III RANGKUMAN KINERJA KELISTRIKAN PLTH PANDANSIMO *OFF-GRID*

Komponen Pembangkit	Kapasitas	Faktor Kapasitas (%)	Renewable fraction	Produksi (kWh/tahun)
PLTS	17 kW	35,5	1	26.444
PLTB	45 kW	69	1	94.795
Baterai	100 unit	N/A	N/A	N/A
Inverter	25 kW	8,4	N/A	N/A
Total				121.239
Kelebihan energi listrik				94.705

Kelebihan energi listrik yang dimiliki sistem dalam satu tahun sebesar 94.705 kWh. Pada Gbr. 7 dapat dilihat bahwa sistem memiliki kelebihan daya listrik yang terjadi hampir setiap bulan. Besarnya kelebihan listrik ini dapat dikurangi dengan menambah jumlah baterai bank, namun penambahan komponen baterai akan membuat biaya investasi bertambah dan konfigurasi sistem berubah. Jika hal ini tidak dilakukan maka kelebihan daya listrik yang telah melebihi kapasitas beban dan kapasitas baterai akan dibuang ke *dummy load*.



Gbr. 7 Kurva Daya Pembangkitan Terhadap Beban

Adanya kelebihan tenaga listrik yang dimiliki PLTH Pandansimo menunjukkan bahwa kinerja sistem dilihat dari sisi beban mampu melayani kebutuhan listrik di Kawasan Wisata Pantai Pandansimo, namun disisi pembangkit hal ini merupakan kerugian. Sehingga perlu upaya peningkatan kinerja sistem dalam kelebihan produksi listrik. Kinerja sistem disisi pembangkitan sangat bergantung dari ketersediaan sumber energi angin dan panas matahari. Ketidakpastian sumber energi mengakibatkan ketidakseimbangan antara produksi energi listrik dan konsumsi energi beban, hal ini sangat berdampak pada kinerja komponen pembangkit PLTS dan PLTB, untuk mengatasi ketidak pastian sumber energi maka diperlukan baterai untuk cadu daya, dan inverter. Untuk melindungi komponen PLTS dan PLTB selama beroperasi dan menjamin keandalan sistem, maka diperlukan adanya peralatan proteksi.

Tabel III Merangkum kinerja ekonomi dari sistem PLTH pandansimo *Off-Grid*. Biaya paling besar adalah biaya awal sebesar US\$ 233.024 atau (74%) dari total NPC, diikuti biaya penggantian sebesar US\$ 43.285 atau 14%, dan biaya operasi dan pemeliharaan sebesar US\$ 38.128 atau 12%. Komponen yang membutuhkan biaya paling besar adalah PLTS sebesar US\$ 120.992 atau 39%, diikuti PLTB sebesar US\$ 95.487 atau 31 %, inverter sebesar US\$ 66.051 atau 22%, dan baterai sebesar US\$ 24.842 atau 8%.

TABEL IIIII

RANGKUMAN KINERJA EKONOMI SISTEM PLTH PANDANSIMO *OFF-GRID*

Komponen	IC (US\$)	R (US\$)	O&M (US\$)	F (US\$)	S (US\$)	Total (US\$)
PLTS	91.035	0	29.887	0	0	120.922
PLTB	89.157	1.881	4.738	0	-288	95.487
Baterai	22.359	766	1.752	0	-36	24.842
Inverter	30.473	40.638	1.752	0	-6.813	66.051
Sistem	233.024	43.285	38.128	0	-7.136	307.302
LCOE, per kWh						0,872
Biaya Operasi						5.597

Ket: IC: *Initial Capital*, R: *Replacement*, O&M: *Operation & maintenance*, F: *fuel*, S: *salvage*

2) *Kinerja sistem PLTH Pandansimo On-Grid* : Kinerja Sistem PLTH Pandansimo *On-Grid* merupakan kinerja integrasi dari sistem PLTH Grup Barat, PLTH Grup Timur dan *grid*.

Hasil pemodelan dan simulasi menggunakan HOMER untuk PLTH Pandansimo *On-Grid* didapatkan bahwa sistem mampu menyalurkan kelebihan energi listrik ke *grid* sebesar 94.705 kWh pertahun dari total keseluruhan energi listrik yang dihasilkan sebesar 121.239 kWh pertahun dengan total keseluruhan konsumsi beban sebesar 26.535 kWh pertahun. Rangkuman kinerja komponen PLTH Pandansimo *On-Grid* dapat dilihat pada Tabel IV.

TABEL IVV

RANGKUMAN KINERJA KELISTRIKAN PLTH PANDANSIMO *ON-GRID*

Komponen Pembangkit	Kapasitas	Faktor Kapasitas (%)	Renewable fraction	Produksi (kWh/tahun)
PLTS	17 kW	4,35	1	26.444
PLTB	45 kW	8,07	1	94.795
Baterai	100 unit	N/A	N/A	N/A
Inverter	25 kW	12	N/A	N/A
Total				121.239
<i>Grid Sales</i>				94.705
Emisi, Karbondioksida (CO ₂):				- 31.557 kg/tahun

Perbedaan kapasitas kelebihan daya listrik yang dihasilkan tiap bulan berbeda-beda, hal ini tergantung dari besar kapasitas yang dibangkitkan sistem dan penggunaan beban. Besarnya kapasitas yang dibangkitkan oleh komponen PLTS dan PLTB bergantung pada potensi sumber energi terbarukan yang ada di lokasi pembangkit. Rata-rata kelebihan daya listrik yang dihasilkan PLTH Pandansimo tiap bulan dapat ditunjukkan pada Tabel V.

Berdasarkan hasil simulasi menggunakan HOMER, sitem PLTH Pandansimo memiliki kelebihan daya rata-rata tiap

bulan dalam satu tahun sebesar 10,8 kW, nilai ini lebih besar dari konsumsi beban bulanan sebesar 3,02 kW, oleh sebab itu, kelebihan daya listrik yang tidak terserap oleh beban dapat dialihkan untuk membantu mengisi kebutuhan daya dalam jaringan *Grid*, begitu juga sebaliknya jika sistem pembangkit PLTH kekurangan daya untuk memenuhi kebutuhan beban dalam hal adanya perawatan atau gangguan pada sistem maka suplai daya listrik dapat diperoleh dari *Grid*. Hal ini lebih menguntungkan untuk keandalan sistem sebagai upaya peningkatan kinerja sistem PLTH Pandansimo.

TABEL V

RATA-RATA KELEBIHAN DAYA LISTRIK PLTH PANDANSIMO

Bulan	Kapasitas Daya Listrik kW	Beban Listrik kW	Kelebihan daya Listrik kW
Januari	13,714	2,965	10,749
Februari	8,887	2,900	5,987
Maret	15,190	3,141	12,049
April	12,547	3,041	9,506
Mei	12,108	2,940	9,167
Juni	17,969	3,084	14,885
Juli	22,043	2,994	19,049
Agustus	15,876	3,202	12,674
September	15,789	3,085	12,704
Oktober	13,537	3,020	10,516
November	8,713	2,944	5,768
Desember	9,220	3,023	6,197
Rata-rata	13,840	3,029	10,811

Tabel VI, menunjukkan rangkuman kinerja ekonomi hasil simulasi menggunakan HOMER pada sistem PLTH Pandansimo *On-Grid*. Biaya paling besar adalah biaya modal awal sebesar US\$ 233.024, diikuti biaya penggantian sebesar US\$ 43.285 dan biaya operasi dan pemeliharaan sebesar US\$ 1.569.

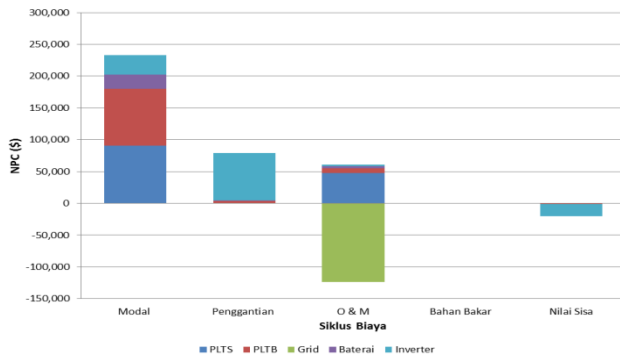
TABEL VI

RANGKUMAN KINERJA EKONOMI SISTEM PLTH PANDANSIMO *ON-GRID*

Komponen	IC (US\$)	R (US\$)	O&M (US\$)	F (US\$)	S (US\$)	Total (US\$)
PLTS	91.035	0	29.887	0	0	120.922
PLTB	89.157	1.881	4.738	0	-288	95.487
Grid	0	0	-53.450	0	0	-53.450
Baterai	22.359	766	1.752	0	-36	24.842
Inverter	30.473	40.638	1.752	0	-6.813	66.051
Sistem	233.024	43.285	-15.323	0	-7.136	253.850
LCOE, per kWh						0,721
Biaya Operasi						1.569

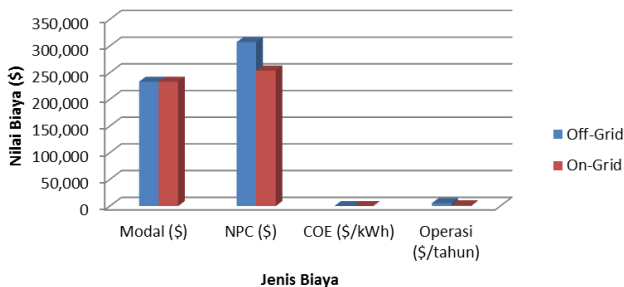
Harga energi listrik per kWh dari sistem PLTH Pandansimo ini sebesar US\$ 0,721 per kWh masih lebih tinggi dari harga jual listrik jaringan (PLN) yang dijual ke pelanggan sebesar US\$ 0,122/kWh. Namun, dilihat dari kontribusinya terhadap jaringan *Grid* sistem ini akan dapat mengurangi faktor emisi pada sistem ketenagalistrikan Jawa Madura Bali (JAMALI) terhadap emisi gas karbon dioksida sebesar 31.557 kg pertahun. Penurunan emisi ini merupakan upaya peningkatan dalam pengembangan proyek CDM di Indonesia.

Adanya penjualan kelebihan daya listrik dari sistem PLTH Pandansimo ke jaringan *Grid* PLN dapat memberikan dampak yang menguntungkan bagi sistem PLTH Pandansimo, dimana nilai hasil keuntungan dari penjualan energi listrik ke *Grid* sebesar US\$ 53.450 mampu mengurangi besarnya biaya operasi dan perawatan komponen lain dalam sistem sehingga biaya operasi dan perawatan sistem dapat tertutupi dari hasil penjualan listrik. Aliran biaya berdasarkan komponen dapat ditunjukkan pada Gbr. 8.



Gbr. 8 Aliran biaya PLTH Pandansimo On-grid

Dari hasil skenario pertama dan skenario kedua, didapatkan bahwa biaya-biaya akan lebih rendah jika PLTH Pandansimo terhubung dengan *Grid*, dimana biaya energi (COE) dapat ditekan turun sebesar 15% dari US\$ 0,872 per kWh menjadi US\$ 0,721 per kWh, biaya bersih sekarang (NPC) turun dari US\$ 307.302 menjadi US\$ 253.850, biaya operasi pertahun turun dari US\$ 5.597 menjadi US\$ 1.569. Seperti terlihat pada Gbr. 9.



Gbr. 9 Perubahan nilai jenis-jenis biaya dari skenario 1 dan skenario 2.

IV. PENUTUP

Berdasarkan analisis kinerja sistem PLTH Pandansimo hasil simulasi menggunakan HOMER, maka dapat ditarik kesimpulan sebagai berikut:

1. Sistem PLTH Pandansimo kondisi *Off-Grid* layak dalam memenuhi kebutuhan listrik di Kawasan Wisata Pantai Baru Pandansimo dengan total nilai NPC sebesar US\$ 307.302, nilai COE sebesar US\$ 0,872 per kWh. Kapasitas total produksi listrik pertahun yang dihasilkan sebesar 121.239 kWh pertahun dengan kontribusi PLTH

Grup Barat sebesar 68.756 kWh pertahun sedangkan PLTH Grup Timur sebesar 52.484 kWh pertahun. Kelebihan tenaga listrik selama setahun sebesar 94.705 kWh pertahun.

2. Peningkatan kinerja sistem PLTH Pandansimo dapat dilakukan melalui konfigurasi sistem PLTH Pandansimo *On-Grid*. didapatkan nilai NPC terendah sebesar \$ 253.850, nilai COE sebesar US\$ 0,720 lebih kecil dari sistem *Off-Grid*, dengan konfigurasi sistem PLTH Pandansimo *On-Grid* yang terdiri dari PLTB kapasitas 45 kW dan PLTS kapasitas 17 kW, sistem dapat menyalurkan energi listrik ke *grid* setahun sebesar 94.705 kWh dan menurunkan faktor emisi CO₂ jaringan *grid* sebesar 31.557 kg pertahun.

UCAPAN TERIMA KASIH

Diucapkan terima kasih kepada segenap jajaran para Dosen program S2 Teknik Elektro UGM dan Pengelola PLTH Pandansimo yang telah memberikan izin untuk melakukan penelitian di lokasi PLTH Pandansimo.

REFERENSI

- [1] Susyanto. (2012, Desember) www.esdm.go.id. [Online]. Diakses dari: <http://www.esdm.go.id/siaran-pers/55-siaran-pers/6127-kinerja-sektor-esdm-tahun-2012-.html>. 18 Februari 2013.
- [2] ESDM. (2007, November) www.esdm.go.id. [Online]. Diakses dari: http://www.esdm.go.id/batubara/doc_download/714-blue-print-pengelolaan-energi-nasional-pen.html.
- [3] Undang-undang Nomor 30 Tahun 2009 Tentang *Ketenagalistrikan*.
- [4] Peta Potensi Angin. (30 Maret 2007). www.esdm.go.id. [Online]. Diakses dari: http://www.djplpe.esdm.go.id/modules.php?_act=detail&sub=news_media&news_id=1527.
- [5] Homer Energy Diakses dari <http://www.homerenergy.com/>
- [6] Anwari M, M. I. M. Rashid, H. T. M. Muhyiddin, A. R. M. Ali. *An Evaluation of Hybrid Wind/Diesel Energy Potential in Pemanggil Island Malaysia*. IEEE Conference on Power Engineering and Renewable Energy 2012 3-5 July 2012, Bali, Indonesia. IEEE: 978-1-4673-2470-0/12. 2012.
- [7] Liu Gang, M. G. Rasul, M. T. O. Amanullah, M. M. K. Khan. *Feasibility study of stand-alone PV-wind-biomasshybrid energy system in Australia*. IEEE 978-1-4244-6255-1/11. 2011.
- [8] Hasan Khurshid, Kaniz Fatima and Md. Sohel mahmood. *Feasibility of Hybrid Power Generation over Wind and Solar Standalone System*. The 5th International Power Engineering and Optimization Conference (PEOCO2011), Shah Alam, Selangor, Malaysia : 6-7 June 2011. IEEE 978-1-4577-0354-6/11. 2011.
- [9] Atmospheric Science Data Center. *Surface Meteorology and solar Energy*. Diakses dari: <http://eosweb.larc.nasa.gov>. Agustus 2013.
- [10] Kementerian Riset dan Teknologi. *Laporan Akhir Proyek Pengadaan Pembangkit Listrik Tenaga Hibrid (PLTH) PV-Wind di Pandansimo Kabupaten Bantul Provinsi Daerah Istimewa Yogyakarta*. September 2010.
- [11] Peraturan Menteri ESDM No.04 Tahun 2012 Tentang Harga Pembelian Tenaga Listrik Oleh Pt Pln (Persero) Dari Pembangkit Tenaga Listrik Yang Menggunakan Energi Terbarukan Skala Kecil Dan Menengah Atau Kelebihan Tenaga Listrik.
- [12] Peraturan Menteri ESDM No 30 Tahun 2012, Tentang Tarif Tenaga Listrik Yang Disediakan Oleh Perusahaan Perseroan (Persero) PT Perusahaan Listrik Negara
- [13] Dewan Energi Nasional, 2011. Informasi *baseline* factor emisi untuk proyek CDM pada sistem ketenagalistrikan Jawa Madura Bali (JAMALI).

- [14] Simic Zdenko, Vladimir Mikulicic. *Small Wind Off-Grid System Optimization Regarding Wind Turbine Power Curve*. IEEE. 1-4244-0987-X/07. 2007
- [15] Anwari M., M. I. M. Rashid, H. I. Hui, T. W. Yee, C. K. Wee. *Photovoltaic Power System Simulation for Small Industry Area*. International Conference on Electrical, Control and Computer Engineering Pahang, Malaysia, June 21-22, 2011. IEEE 978-1-61284-230-1/11. 2011
- [16] Brandon H. Newell. *The Evaluation Of Homer As A Marine Corps Expeditionary Energy Pre-Deployment Tool*. Thesis. Master Of Science In Electrical Engineering. Naval Postgraduate School. September 2010.
- [17] Headley Stewart Jacobus. *Solar-Diesel Hybrid Power System Optimization and Experimental Validation*. Thesis. Master of Science. Faculty of the Graduate School of the University of Maryland.2010.