

OPERASI EKONOMIS PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA HYBRID BAYU BARU DI BANTUL, D.I. YOGYAKARTA

Bambang Winardi¹⁾, Agung Nugroho²⁾, Johar Pradityo³⁾

^{1,2),3)}Jurusan Teknik Elektro, Universitas Diponegoro Semarang
Jl. Prof. Sudharto, SH, Kampus UNDIP Tembalang, Semarang 50275, Indonesia
Email : bbwinar@gmail.com

Abstrak. Pembangkit Listrik Tenaga Hybrid (PLTH) Bayu Baru adalah pembangkit listrik yang terdiri dari PLTS dengan panel surya dan PLTB dengan turbin angin. PLTH Bayu Baru secara rutin harus dievaluasi karena komponen-komponen PLTH Bayu Baru yang rentan terhadap kerusakan dikarenakan hampir semua komponen pembangkitan berada di lapangan. Evaluasi ini bertujuan agar kontinuitas penyaluran energi listrik tetap terjaga. Kinerja PLTH Bayu Baru dapat diukur melalui kinerja tiap komponen pembangkitannya. Kinerja panel surya dan turbin angin PLTH Bayu Baru dapat diukur melalui daya keluaran dari komponen tersebut. Simulasi software HOMER dapat menghitung tingkat ekonomis dari PLTH Bayu Baru dan dapat mengoptimasi desain sistem pembangkit hybrid berdasarkan nilai NPC terendah. Hasil simulasi dengan software HOMER, keseluruhan sistem PLTH Bayu Baru dengan project life time 25 tahun membutuhkan NPC sebesar \$ 583.569, dan COE sebesar \$ 1,198/kWh. Komponen pembangkit yang paling ekonomis pada PLTH Bayu Baru adalah turbin angin berkapasitas 5kW dan 2,5kW didasarkan pada nilai LCOE \$ 0,190 dan \$ 0,171/kWh .

Kata kunci : Evaluasi, Optimasi, Hybrid, NPC, COE

1. Pendahuluan

Letak geografis Pantai Baru di pesisir selatan Pulau Jawa yang berhadapan langsung dengan Samudra Hindia memiliki potensi energi terbarukan dari sumber energi matahari yang bersinar sepanjang hari dan energi angin dengan intensitas kecepatan angin rata-rata 4 m/s[1]. Kondisi ini cukup layak untuk dimanfaatkan sebagai sumber energi hibrid[4]. Hal ini telah diimplemetasikan melalui pembangunan PLTH Bayu Baru yang merupakan hasil kerjasama dari pemerintah, pihak swasta, pihak perguruan tinggi dan masyarakat sekitar.

Penelitian ini bertujuan untuk melakukan analisis kinerja turbin angin dan panel surya pada PLTH Bayu Baru, mengetahui besar potensi optimal energi terbarukan (energi angin dan cahaya matahari) yang terdapat di PLTH Bayu Baru, melakukan analisis kinerja sistem PLTH Bayu Baru dengan menggunakan perangkat lunak HOMER untuk kondisi *off-grid*, mekonfigurasi untuk pengoptimalan kinerja dan ekonomi sistem PLTH Bayu Baru melalui simulasi HOMER untuk kondisi *Off-grid* [4].

2. Pembahasan

2.1. Simulasi PLTH Bayu Baru dengan Menggunakan Software HOMER Beban Harian PLTH Bayu Baru

Model PLTH Bayu Baru akan disimulasikan dengan data beban utama. Rata-rata beban listrik di PLTH Bayu Baru sebesar 3,57 kW dengan konsumsi rata-rata energi listrik yang digunakan adalah 85,6 kWh perhari. Beban puncaknya yang mungkin terjadi adalah sebesar 13,3 kW dalam satu tahun.

Potensi Energi Matahari

Potensi energi matahari sebagai sumber energi dinyatakan dalam data indeks kecerahan (*Clearnex Incex*) dan radiasi sinar matahari (*Solar Radiation*) yaitu rata-rata global radiasi matahari pada permukaan horizontal, dinyatakan dalam kWh/m², untuk setiap hari dalam satu tahun.

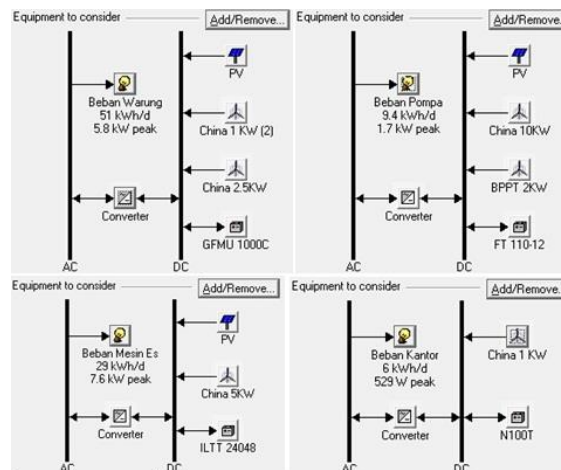
Data potensi energi matahari untuk lokasi PLTH Bayu Baru didapatkan indeks kecerahan rata-rata sebesar 0,483 dan *Daily Radiation* rata-rata sebesar 4,802 kWh/m²/d.

Potensi Energi Angin

Berdasarkan data potensi energi angin yang didapat dari data logger anemometer di lokasi PLTH Bayu Baru, rata-rata kecepatan angin di Pantai Baru Pandansimo diukur dari ketinggian 15 meter dari permukaan tanah adalah 3,42 m/s.

2.2. Model PLTH Bayu Baru Off-grid

Model PLTH Bayu Baru yang akan disimulasikan adalah keseluruhan sistem PLTH Bayu Baru. Model keseluruhan sistem pada PLTH Bayu Baru, terdiri dari 29 kW panel surya dan 61 kW turbin angin yang terdiri dari 27 unit turbin angin 1 kW, 2 unit turbin angin 2 kW, 2 unit turbin angin 2,5 kW, 1 unit turbin angin 5 kW dan 2 unit turbin angin 10 kW serta komponen baterai dan inverter.



Gambar 1 Model sistem off-grid PLTH Bayu Baru

▪ Turbin Angin

Turbin angin yang digunakan adalah type 3 *Blades Upwind* dengan 6 variasi kapasitas, yaitu 1kW 240V, 1kW 48V, 2kW 240V, 2.5kW 240V, 5kW 240V, dan 10 kW 240V. Berikut ini adalah biaya yg dikeluarkan untuk turbin angin yang dipasang 15 meter diatas tanah dan dengan *life time* 10 tahun.

Tabel 1 Biaya Komponen Turbin Angin

Turbin angin	Unit	Biaya (US\$)		
		Modal	Ganti	O&M
1kW/48V	6	27.045	16.048	250
1kW/240V	21	101.261	63.125	632
2kW/240V	2	9.639	5.292	120
2,5kW/240V	2	10.025	6.252	100
5kW/240V	1	7.696	5.662	80
10kW/240V	2	32.139	25.680	340

▪ Panel Surya

Panel surya yang digunakan terdiri dari 3 grup yaitu grup 15 kW 120V, 10kW 48V, dan 4 kW 240V. Berikut ini adalah biaya untuk panel surya.

Tabel 2 Biaya Komponen Panel Surya

Grup Panel Surya	Biaya (US\$)		
	Modal	Ganti	O&M
15kW/120V	83.438	76.515	25
10kW/48V	54.149	46.850	15
4kW/240V	20.514	19.366	10

▪ Inverter

Inverter yang digunakan pada PLTH Bayu Baru terdiri 3 unit inverter *handmade* 2 kW 48V, 3 unit inverter *Luminous Cruze* 3,5 kW 48V, 2 unit inverter *Luminous Jumbo* 7,5 kW 120V dan 1 unit Inverter China 5 kW 240V. Jadi Total kapasitas inverter sebesar 36,5 kW dengan biaya modal sebesar \$ 8259, biaya penggantian sebesar \$ 4880 dan biaya operasi dan pemeliharaan sebesar \$ 261.

▪ Baterai

Baterai yang digunakan PLTH Bayu Baru terdiri dari 4 jenis baterai yang berbeda dengan total kapasitas 4260Ah, 360KW. Berikut ini adalah biaya untuk baterai.

Tabel 3 Biaya koponen baterai PLTH Bayu Baru

Baterai	Unit	Biaya (US\$)		
		Modal	Ganti	O&M
SkyBatt	60	13.056	10.931	150
Luminous	40	18.196	16.562	200
PowerFit	40	8.921	7.287	120
Sacred Sun	72	22.397	20.272	120

Batasan Batasan Pengoperasian PLTH

Batasan ekonomi yang digunakan ketika sistem PLTH disimulasikan adalah suku bunga pinjaman investasi per September 2016 sebesar 11,01% ^[6], inflasi sebesar 5,8% ^[7], jangka proyek 25 tahun. Batasan kontrol sistem pada *dispatch strategy* yang digunakan adalah *cycle charging* dengan *setpoint states of charge* sebesar 80% dan *maximum annual capacity shortage* sebesar 0,4%. Batasan temperature pada tab *other* di HOMER diambil data temperatur udara dari *website* NASA.

2.3. Hasil dan Analisis

Konfigurasi PLTH Bayu Baru

Konfigurasi ini terdiri dari komponen panel surya dengan kapasitas 15 kW, turbin angin berkapasitas 2,5 kW berjumlah 2 unit, turbin angin berkapasitas 1 kW berjumlah 6 unit, dan inverter dengan kapasitas 16,5 kW.

Konfigurasi yang disimulasikan dari HOMER dapat dihitung energi yang dibangkitkan oleh keseluruhan komponen PLTS dan PLTB pada PLTH Bayu Baru. Selain itu dapat dihitung keseluruhan biaya pada sistem tersebut.

Tabel 4 Produksi maksimum PLTH Bayu Baru dalam 1 Tahun

Jenis Pembangkit	Kapasitas (kW)	Otput Rata2 (kW)	Total Produksi	LCOE (\$/kWh)
			(kWh/th)	
Panel Surya	15	2,2	18.987	0,203
Panel Surya	10	1,43	12.516	0,317
Panel Surya	4	0,62	5.428	0,270
Turbin Angin 1 kW	21	2,5	21.547	0,538
Turbin Angin 1 kW (2)	6	0,81	7.139	0,438
Turbin Angin 2 kW	4	0,24	2.072	0,541
Turbin Angin 2,5 kW	5	0,72	6.306	0,191
Turbin Angin 5 kW	5	0,66	5.792	0,170
Turbin Angin 10 kW	20	2,4	20.608	0,202
Total	90		100.395	

Kapasitas total PLTH Bayu Baru adalah 90 kW, dengan kapasitas panel surya adalah 29 kW (32,2%) dan kapasitas turbin angin adalah 61 kW (67,8%). Produksi energi listrik maksimum yang dapat dihasilkan PLTH Bayu Baru dalam satu tahun adalah 100.395 kWh, dengan keluaran panel surya adalah 36.931 kWh/th (36,79%) dan keluaran total turbin angin adalah 63.464 kWh/th (63,21%).

Data ini dapat dilihat bahwa pada PLTH Bayu Baru, energi listrik keluaran panel surya lebih efektif dari pada keluaran turbin angin. Hal ini dikarenakan kapasitas panel surya hanya 32,2% dari kapasitas total PLTH dapat menghasilkan keluaran energi sebesar 37,5% dari total keluaran PLTH Bayu Baru.

Beban PLTH Bayu Baru sendiri pada simulasi HOMER dalam setahun adalah 34.565 kWh atau hanya sekitar sepertiganya dari daya yang dapat dibangkitkan oleh PLTH 100.395 kWh. Jadi terdapat kelebihan daya sekitar 65.830 kWh tiap tahunnya. Dari segi energi listrik yang dibangkitkan tentu saja PLTH Bayu Baru jauh dari kata efektif.

Segi harga pembangkitan tiap komponen, harga pembangkitan paling murah ada pada turbin angin berkapasitas 5 kW berjumlah 1 unit dengan harga \$ 0,170/kWh

Ringkasan Biaya

Dari keseluruhan sistem PLTH Bayu Baru yang ada ,Biaya modal dari keseluruhan sistem PLTH adalah sebesar \$ 398.277. Biaya penggantian keseluruhan komponen yang ada adalah \$ 162.003. Biaya operasi dan pemeliharaan sistem keseluruhan adalah \$ 36.403, dan biaya sisa dari sistem setelah project time 25 tahun adalah \$ 26.158. Sehingga didapat total NPC adalah sebesar \$ 583.569.

Tabel 5. Ringkasan biaya keseluruhan sistem PLTH Bayu Baru

Komponen	Capital (\$)	Replacement (\$)	O&M (\$)	Fuel (\$)	Salvage (\$)	Total (\$)
PV	130.289	0	704	0	0	130.993
China 1 kW	101.261	62.544	8.907	0	-9321	163.392
China 1 kW (2)	27.045	15.900	3.523	0	-2.370	44.099
China 2 kW	9.639	5.243	1.691	0	-781	15.792
China 2,5 kW	10.025	6.195	1.691	0	-923	16.988
China 5 kW	7.696	5.610	1.409	0	-836	13.879
China 10 kW	32.139	25.444	4.792	0	-3.792	58.583
Luminous	18.196	7.967	2.819	0	-1.630	27.351
Power Fit	8.921	3.505	1.691	0	-717	13.400

SkyBatt	13.056	5.258	2.114	0	-1.076	19.352
Sacred Sun	44.794	19.502	3.383	0	-3.991	63.688
Inverter	8.259	4.835	3.679	0	-721	16.052
Sistem	398.277	162.003	36.403	0	-26.158	583.569

Perhitungan COE (harga energi) digunakan tahapan sebagai berikut, Pertama harus menghitung CRF (faktor pemulihan modal) dengan rumus

$$CRF(i, N) = \frac{i(1+i)^N}{(1+i)^N - 1} \dots \dots \dots (1)$$

$$CRF(0,05; 25) = \frac{0,05(1 + 0,05)^{25}}{(1 + 0,05)^{25} - 1} = 0,07095$$

Kedua harus menghitung nilai $C_{ann,tot}$ dengan persamaan

$$C_{ann,tot} = \frac{C_{NPC}}{CRF(i, R_{proj})} \dots \dots \dots (2)$$

$$C_{ann,tot} = 583569 \times 0,07095 = \$ 41404,22 \text{ /tahun}$$

Langkah ketiga menghitung COE (harga energi) dengan persamaan berikut

$$COE = \frac{C_{ann,tot}}{E_{prim AC}} \dots \dots \dots (3)$$

$$COE = \frac{41404,22}{34565} = \$ 1,198/kWh$$

Dari hasil perhitungan secara manual dengan persamaan yang sama dengan HOMER didapat harga energi listrik yang dibangkitkan oleh PLTH Bayu Baru sebesar \$ 1,198/kWh. Harga ini sangatlah mahal jika dibandingkan harga energi listrik dari jaringan (PLN) yang hanya \$ 0,138. Harga dari listrik PLTH ini bisa mencapai 10 kali lipat dari harga energi listrik jaringan.

Analisis Perbandingan 4 Grup dan Gabungan Sistem PLTH Bayu Baru

- Konfigurasi 4 Sistem Grup PLTH Bayu Baru

Kondisi yang ada sekarang pada PLTH Bayu adalah sistem pembangkitannya dibagi menjadi 4 grup

Tabel 6 Hasil simulasi dari 4 grup beban PLTH Bayu Baru

Beban	Beban/th (kWh)	NPC	COE	Energy	Energi Sisa	
		(\$)	(\$/kWh)	(kWh/th)	(kWh/th)	Percent
Warung	18.472	185.411	0,709	26.046	3.573	13,70%
Kantor	2.205	186.049	5,988	21.595	19.132	88,60%
Pompa	3.446	111.735	2,301	25.345	21.380	84,40%
Mesin Es	10.402	106.449	0,726	17.488	5.515	31,50%

Dari tabel di atas terlihat bahwa distribusi dari komponen pembangkit untuk tiap grup tidak merata.

- Rekonfigurasi Gabungan Sistem PLTH Bayu Baru

Rekonfigurasi gabungan dari PLTH Bayu Baru adalah sistem dimana sumber dari pembangkitan dan beban dijadikan 1.

Tabel 7 Hasil dari rekonfigurasi gabungan sistem PLTH Bayu Baru

Beban	Beban/th (kWh)	NPC	COE	Energy	Energi Sisa	
		(\$)	(\$/kWh)	(kWh/th)	(kWh/th)	Percent
Total	34.565	583.569	1,198	100.395	54.769	54,55%

Dari tabel di atas terlihat ketika seluruh sistem yang ada digabung menjadi 1, terlihat terdapat energi sisa sebanyak 54,55%

3. Kesimpulan

Potensi PLTH Bayu Baru dengan menggunakan panel surya dan turbin angin dengan kapasitas 90 kW dengan potensi energi matahari dan kecepatan angin yang ada, melalui *software* Homer PLTH Bayu Baru dapat menghasilkan energi listrik maksimal sebesar 100.395 kWh/ tahun. Keseluruhan sistem PLTH Bayu Baru dengan lama proyek 25 tahun menghasilkan NPC sebesar \$ 583.569, dan COE sebesar \$ 1,198/ kWh. Komponen pembangkit yang paling ekonomis dilihat dari biaya modal awal dengan hasil energi yang dibangkitkan adalah turbin angin 5 kW dan turbin angin 2,5 kW. Penggabungan sistem PLTH Bayu Baru 4 Grup menjadi satu sistem akan lebih efektif, karena kontinuitas penyaluran energi listrik ke beban akan lebih terjaga dan lebih handal. Saran pengembangan dari penelitian ini dapat berupa perencanaan pembangkit listrik tenaga hybrid baru untuk keperluan masyarakat sekitarnya.

Daftar Pustaka

- [1]. ESDM. Peta potensi angin, www.esdm.go.id
- [2]. NASA Surface Meteorology and Solar Energy, diakses dari : www.eosweb.larc.nasa.gov
- [3]. Bank Central Republik Indonesia. 2016. Suku bunga Pinjaman Investasi yang Diberikan Menurut Kelompok Bank. Diakses dari : <http://www.bi.go.id/web/id/moneter/BI+Rate/Data+BI+Rate>.
- [4]. Taufik Chemistryadha Wijaya, "Optimasi Potensi Energi Terbarukan untuk Sistem Pembangkit Hybrid di Desa Margajaya Bengkulu Utara Menggunakan Perangkat Lunak Homer", Penelitian, Teknik Elektro, Universitas Diponegoro. Semarang. 2014.
- [5]. Najib M Habibie. Achmad Sasmito, Roni Kurniawan. Kajian Potensi Energi Angin di Wilayah Sulawesi dan Maluku. Puslitbang BMKG. Jakarta. Jurnal Meteorologi dan Geofisika Volume 12 nomer 2-September 2011 :181-187.
- [6]. Tri Suhartanto, "Analisis Kinerja Sistem Pembangkit Listrik Tenaga Hibrid (Angin dan Surya) Di Pantai Baru Pandansimo Bantul Yogyakarta", S2 Tesis, Teknik Elektro, Universitas Gadjah Mada, Yogyakarta, 2013.
- [7]. Handini Wike, "Analisis Hasil Simulasi Perangkat Lunak Homer dan Vipor Pada Studi Kasus Pembangkit Listrik Tenaga Hibrida di Wilayah Benkutat Lampung Barat", Tesis Universitas Indonesia, 2010.
- [8]. Soetedjo Aryuanto, Abraham Lorni, Yusuf Ismail Nakhoda, "Pemodelan Sistem Pembangkit Listrik Hibrid Angin Surya", Jurusan Teknik Elektro, Fakultas Teknologi Industri. Institut Teknologi Malang, 2011.
- [9]. Tom Lambert^[1], Paul Gilman, and Peter Lilienthal^[2], "Micropower System Modeling With Homer", Mistaya Engineering Inc^[1], National Renewable Energy Laboratory^[2], USA, 2012.
- [10]. Getting Started Guide for Homer Legacy Version 2.68, National Renewable Energy Laboratory of US, 2011.