

EVALUASI DAN OPTIMASI SISTEM *OFF GRID* PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA HYBRID (PLTH) BAYU BARU, BANTUL, D.I. YOGYAKARTA

Johar Pradityo^{*)}, Bambang Winardi, and Agung Nugroho

Jurusan Teknik Elektro, Universitas Diponegoro Semarang
Jl. Prof. Sudharto, SH, Kampus UNDIP Tembalang, Semarang 50275, Indonesia

^{*)}E-mail : johar.pradityo@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

Abstract

Bayu Baru Hybrid Power Plant is a power station consisting of solar power plant with solar panels and wind power plant. Bayu Baru Hybrid Power Plant has to be evaluated regularly because the components are vulnerable to damage due to almost all of the generating components are located on the field. This evaluation aims for continuity of electrical energy distribution. Hybrid power plant Performance can be measured by performance of generating components. The performance of solar panels and wind turbines PLTH Bayu Baru can be measured by the output power of the components. HOMER simulation *software* can calculate the economics of PLTH Bayu Baru and optimize the design of hybrid power systems based on the value of the lowest NPC. The result of simulation with HOMER *software*, the entire systems of Bayu Baru Hybrid Power Plant with the project life time of 25 years requires the NPC for \$ 583.569 and COE of \$ 1,198/kWh. The most economical plant components on PLTH New Bayu is a wind turbine with a capacity of 5kW and 2.5kW, it is based on LCOE value of \$ 0.190 and \$ 0.171 / kWh.

Keywords : Evaluation, Optimization, Hybrid, NPC, COE

1. Pendahuluan

Perkembangan kebutuhan energi listrik dari tahun ke tahun semakin meningkat, apalagi pada negara yang masih berkembang seperti Indonesia. Dengan perkembangan kebutuhan listrik yang terus meningkat maka diperlukan sumber energi primer yang lebih besar pula, sedangkan energi primer yang tidak dapat diperbaharui jumlahnya terus menurun. Oleh karena itu pemakaian energi terbarukan harus ditingkatkan untuk mengimbangi kenaikan kebutuhan akan energi listrik.

Energi terbarukan tersebut dapat dari air, angin, cahaya matahari, maupun panas bumi. Sejalan dengan sasaran Pengelolaan Energi Nasional 2005-2025 yang memberikan sasaran peningkatan pencapaian energi baru terbarukan pada tahun 2025 menjadi 5% [1] maka perlu upaya melakukan diversifikasi energi pada pembangkit tenaga listrik dengan memprioritaskan pemanfaatan energi baru terbarukan secara optimal. Kebijakan dalam pemanfaatan energi baru terbarukan sebagai sumber energi listrik harus tetap memperhatikan aspek teknis, ekonomi dan keselamatan lingkungan hidup. Sehingga

sumber energi 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 listrik yang mencukupi. Usaha penyediaan tenaga listrik meliputi usaha pembangkitan, transmisi, distribusi dan penjualan tenaga listrik[2]. 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 ramah lingkungan.

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[3]. Kondisi ini cukup layak untuk dimanfaatkan sebagai sumber energi hibrid. Hal ini telah diimplemetasikan melalui pembangunan PLTH Bayu Baru yang merupakan hasil kerjasama dari pemerintah, pihak swasta, pihak perguruan tinggi dan masyarakat sekitar. Teknologi hibrid ini merupakan percontohan untuk dikembangkan ke daerah lain, terutama daerah terpencil guna memenuhi kebutuhan listrik masyarakat terpencil. Hal ini bertujuan agar kesejahteraan masyarakat di Indonesia dapat merata

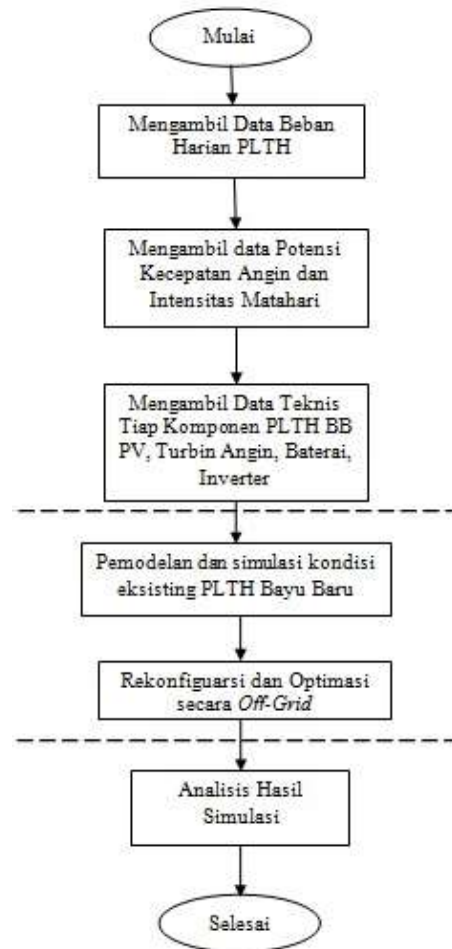
Suatu sistem pembangkit listrik tenaga hibrid harus selalu dipantau dan dikontrol, agar keberlangsungan memasok energi listrik terus terjamin. Sistem listrik tenaga hibrid di Bantul menggunakan turbin angin dan panel surya. Untuk memperoleh hasil yang maksimal maka perlu dilakukan optimasi dan evaluasi dari sistem pembangkit listrik tenaga hibrid tersebut. Evaluasi pada PLTH ini mencakup kinerja turbin angin dan panel surya di PLTH Bayu Baru. Optimasi sistem listrik tenaga hibrid adalah dengan memperhitungkan energi maksimal yang dapat dihasilkan oleh panel surya dan turbin angin dengan menggunakan *software* Homer dan menghitung energi yang dapat dijual seandainya sistem terkoneksi dengan grid PLN.

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*.

2. Metode

2.1. Diagram Alir Metode Penelitian di PLTH Bayu Baru

Diagram alir dari penelitian PLTH Bayu Baru di Desa Poncosari, Kecamatan Srandakan, Kabupaten Bantul, Provinsi D.I Yogyakarta adalah sebagai berikut. Diagram alir ini adalah diagram alir untuk melakukan simulasi dengan menggunakan *software* Homer.

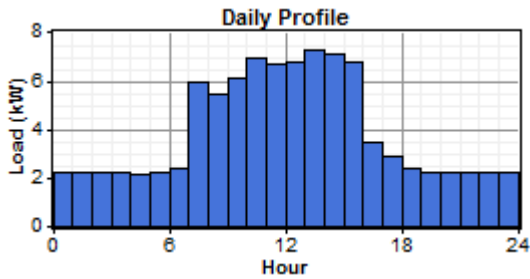


Gambar 2.1 Diagram alir penelitian

2.2. Simulasi PLTH Bayu Baru dengan Menggunakan *Software* HOMER

2.2.1. Beban Harian PLTH Bayu Baru

Model PLTH Bayu Baru akan disimulasikan dengan data beban utama, berupa data kurva beban harian di Kawasan Wisata Pantai Baru Pandansimo yang diperoleh dari pengukuran beban langsung pada keluaran inverter selama 24 jam. Berikut ini adalah grafik beban harian PLTH Bayu Baru,

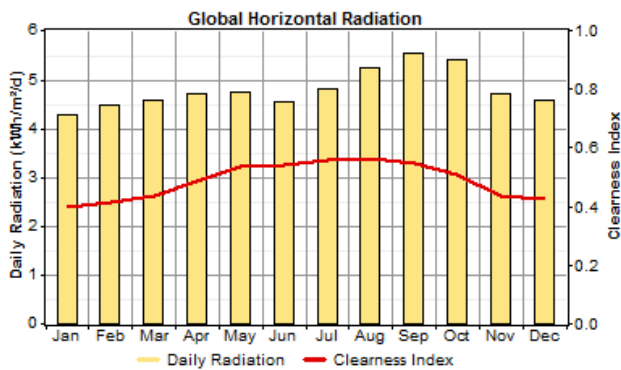


Gambar 2.2 Grafik profil beban harian PLTH Bayu Baru

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.

2.2.2. Potensi Energi Matahari

Potensi energi matahari sebagai sumber energi dinyatakan dalam data indeks kecerahan (*Clearness Index*) 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. Berikut ini adalah grafik potensi energi matahari di PLTH Bayu Baru,

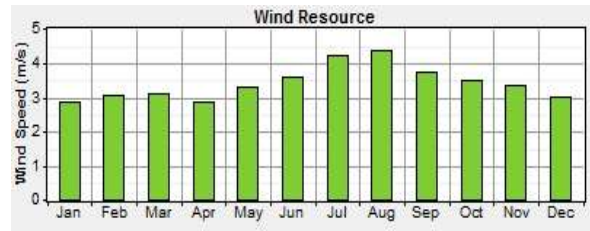


Gambar 2.3 Grafik potensi energi matahari PLTH Bayu Baru [4]

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.

2.2.3 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. Berikut ini adalah grafik potensi energi angin pada PLTH Bayu Baru

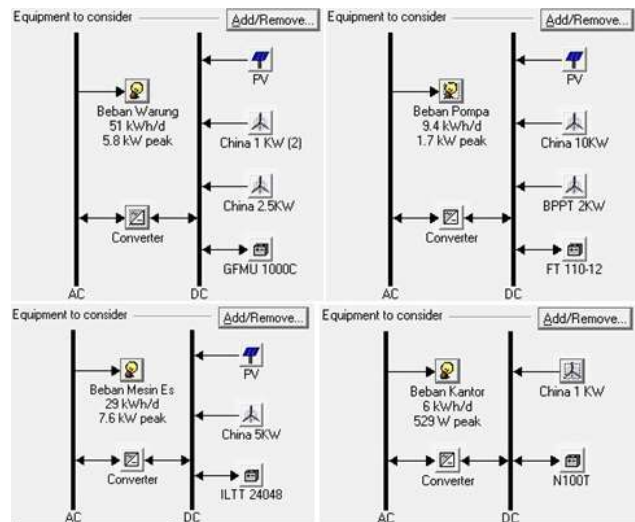


Gambar 2.4 Grafik potensi energi angin PLTH Bayu Baru

2.2.4 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.

Simulasi keseluruhan sistem akan dibagi menjadi 3 konfigurasi. Konfigurasi pertama menggunakan turbin angin berkapasitas 2 kW dan 1 kW, Konfigurasi kedua menggunakan turbin angin berkapasitas 10 kW dan 1kW, dan konfigurasi ketiga menggunakan turbin angin berkapasitas 2,5 kW dan 5 kW.



Gambar 2.5 Model sistem off-grid PLTH Bayu Baru

Semua harga investasi yang digunakan pada simulasi ini didapat dari pihak PLTH Bayu Baru, yang telah dikonversikan ke dalam mata uang US\$ dengan nilai kurs transaksi Bank Indonesia sesuai perjanjian kontrak pengadaan pada tanggal 3 September 2010 untuk nilai kurs jual US\$ 1 sebesar 9057^[5].

▪ 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 2.1 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.

Panel surya 15kW 120V, terdiri dari 150 panel yang tersusun seri dan paralel, kapasitas tiap panel surya adalah 100Wp dengan tipe eLSol 100236-PCM.

Panel surya 10 kW 120V, terdiri dari 48 panel yang tersusun seri dan paralel, kapasitas tiap panel surya adalah 220Wp dengan tipe SkyTechs 220W.

Panel surya 4 kW 240V, terdiri dari 40 panel yang tersusun seri dan paralel, kapasitas tiap panel surya adalah 100Wp dengan tipe SY 100P dan SYK 100WM. Lifetime PV adalah 25 tahun.

Berikut ini adalah biaya untuk panel surya.

Tabel 2.2 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 2.3 Biaya komponen 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

2.2.5 Batasan Batasan Pengoperasian PLTH

Batasan ekonomi yang digunakan ketika sistem PLTH disimulasikan adalah suku bunga pinjaman investasi per September 2010 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.

3. Hasil dan Analisis

3.1. Konfigurasi PLTH Bayu Baru Dengan Beban Warung Kuliner

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.

Hasil simulasi dan optimasi menggunakan *software* HOMER dapat diringkas dan dibandingkan sebagai berikut.

Tabel 3.1 Perbandingan konfigurasi sistem

Konfigurasi	PV (KW)	WT 1	WT 2,5	NPC (\$)	COE (\$/kWh)	Energy (kWh/Th)	Energi Sisa	
		KW (Unit)	KW (Unit)				(kWh/Th)	Percent
Semua unit	15	6	2	185.411	0,709	26.046	3.573	13,7%
Opt.Off-Grid	15	2	2	156.011	0,599	24.894	2.484	9,98%

Dari tabel 3.1 perbandingan di atas terlihat ketika semua unit beroperasi, total NPC sebesar \$ 185.411, dan COE (harga energi) sebesar \$ 0,709. Energi listrik yang dibangkitkan per tahun adalah 26.046 kWh dengan energi sisa 3.573 kWh (13,7%). Pada sistem *off-grid* Ketika semua unit beroperasi akan tidak efektif hal ini karena energi yang dibangkitkan jauh melebihi bebannya, sehingga akan menghasilkan banyak energi yang terbuang.

Pada pencarian konfigurasi secara optimal dengan menggunakan HOMER didapat konfigurasi optimal dengan menggunakan komponen yang terdiri dari panel surya 15 kW, turbin angin 2,5 kW sebanyak 2 unit dan turbin angin 1 kW sebanyak 2 unit. Konfigurasi ini

menghasilkan energi sebesar 24.894 kWh/th. Pada kondisi *Off-grid*, konfigurasi ini membutuhkan NPC sebesar \$ 156.011 dan COE sebesar \$ 0,599 dengan sisa energi 2.484 kWh/th atau 9,98%.

Pengoptimalan konfigurasi *Off-grid* dapat mengurangi NPC sebesar \$29.400 dan pengurangan COE sebesar \$ 0,11/ kWh.

3.2. Konfigurasi PLTH Bayu Baru Dengan Beban Kantor

Konfigurasi PLTH Bayu Baru dengan beban kantor terdiri dari komponen turbin angin berkapasitas 1 kW berjumlah 21 unit, dan inverter dengan kapasitas 5 kW.

Hasil simulasi dan optimasi menggunakan *software* HOMER dapat diringkas dan dibandingkan sebagai berikut.

Tabel 3.2 Perbandingan konfigurasi sistem

Konfigurasi	WT 1		NPC	COE	Energy	Energi Sisa	
	KW	(Unit)				(\$)	(\$/kWh)
Semua unit	21	186.049	5,988	21.595	19.132	88,6%	
Opt.Off-Grid	4	53.779	1,731	4.113	1.491	36,2%	

Dari tabel 3.2 perbandingan di atas terlihat ketika semua unit beroperasi, total NPC sebesar \$ 186.049, dan COE (harga energi) sebesar \$ 5,988. Energi listrik yang dibangkitkan per tahun adalah 21.595 kWh dengan energi sisa 19.132 kWh (88,6%). Pada sistem *off-grid* Ketika semua unit beroperasi akan tidak efektif hal ini karena energi yang dibangkitkan jauh melebihi bebannya, sehingga akan menghasilkan banyak energi yang terbuang.

Pada pencarian konfigurasi secara optimal dengan menggunakan HOMER didapat konfigurasi optimal dengan menggunakan komponen yang terdiri dari turbin angin 1 kW sebanyak 4 unit. Konfigurasi ini menghasilkan energi sebesar 4.113 kWh/th. Konfigurasi ini membutuhkan NPC sebesar \$ 53.779 dan COE sebesar \$ 1,731 dengan sisa energi 1.491 kWh/th atau 36,2%.

Pengoptimalan konfigurasi *Off-grid* dapat mengurangi NPC sebesar \$132.270 dan pengurangan COE sebesar \$ 4,257/ kWh.

3.3. Konfigurasi PLTH Bayu Baru Dengan Beban Pompa Air

Konfigurasi ini terdiri dari komponen panel surya dengan kapasitas 4 kW, turbin angin berkapasitas 2 kW berjumlah 2 unit, turbin angin berkapasitas 10 kW berjumlah 2 unit, dan inverter dengan kapasitas 5 kW.

Hasil simulasi dan optimasi menggunakan *software* HOMER diringkas dan dibandingkan sebagai berikut.

Tabel 3.3 Perbandingan konfigurasi sistem

Konfigurasi	PV	WT 2		NPC	COE	Energy	Energi Sisa	
		KW	(Unit)				(\$)	(\$/kWh)
Semua unit	4	2	2	111.735	2,301	25.345	21.380	84,4%
Opt.Off-Grid	4	0	0	37.360	0,769	5.428	1.194	22%

Dari tabel 3.3 perbandingan di atas terlihat ketika semua unit beroperasi, total NPC sebesar \$ 111.735, dan COE (harga energi) sebesar \$ 2,301. Energi listrik yang dibangkitkan per tahun adalah 25.345 kWh dengan energi sisa 21.380 kWh (84,4%). Pada sistem *off-grid* Ketika semua unit beroperasi akan tidak efektif hal ini karena energi yang dibangkitkan jauh melebihi bebannya, sehingga akan menghasilkan banyak energi yang terbuang.

Pada pencarian konfigurasi secara optimal dengan menggunakan HOMER didapat konfigurasi optimal dengan menggunakan komponen yang terdiri dari panel surya 4 kW. Konfigurasi ini menghasilkan energi sebesar 5.428 kWh/th. Konfigurasi ini membutuhkan NPC sebesar \$ 37.360 dan COE sebesar \$ 0,769 dengan sisa energi 1.194 kWh/th atau 22%.

Pengoptimalan konfigurasi *Off-grid* dapat mengurangi NPC sebesar \$74.375 dan pengurangan COE sebesar \$ 1,532/ kWh.

3.4. Konfigurasi PLTH Bayu Baru Dengan Beban Mesin Es Kristal

Konfigurasi ini terdiri dari komponen panel surya dengan kapasitas 10 kW, turbin angin berkapasitas 5 kW berjumlah 1 unit, dan inverter dengan kapasitas 15 kW.

Hasil simulasi dan optimasi menggunakan *software* HOMER diringkas dan dibandingkan sebagai berikut.

Tabel 3.4 Perbandingan konfigurasi sistem

Konfigurasi	PV	WT 5		NPC	COE	Energy	Energi Sisa	
		KW	(Unit)				(\$)	(\$/kWh)
Optimasi	10	1		106.449	0,726	17.448	5.515	31,5%

Dari tabel 3.4 terlihat semua komponen dan hasil pencarian konfigurasi optimal sama. Hal ini dikarenakan komponen pembangkitan yang sedikit dengan beban yang besar. Terlihat bahwa energi sisa atau cadangan hanya 31,5%, jika salah satu komponen pembangkitan terjadi kerusakan maka suplai ke beban akan terganggu.

3.5. Konfigurasi Keseluruhan Sistem PLTH Bayu Baru

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.

3.5.1 Produksi Energi Listrik

Dari hasil simulasi HOMER maka dapat dijumlah dari keseluruhan keluaran energi listrik dari komponen pembangkit dari PLTH Bayu Baru. Berikut ini adalah tabel maksimum produksi energi listrik total PLTH Bayu Baru dalam 1 tahun.

Tabel 3.5 Produksi maksimum PLTH Bayu Baru dalam 1 Tahun

Jenis Pembangkit	Kapasitas (kW)	Otput Rata2 (kW)	Total Produksi (kWh/th)	LCOE (\$/kWh)
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

3.5.2 Ringkasan Biaya

Dari keseluruhan sistem PLTH Bayu Baru yang ada, yang terlihat pada tabel 4.26, 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 3.6 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	-2370	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

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

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

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

$$C_{NPC} = \frac{C_{ann,tot}}{CRF(i, Rproj)}$$

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

Langkah ketiga menghitung COE (harga energi) dengan persamaan berikut

$$COE = \frac{C_{ann,tot}}{E_{prim AC}}$$

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

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.

3.6. Analisis Perbandingan 4 Grup dan Gabungan Sistem PLTH Bayu Baru

3.6.1 Konfigurasi 4 Sistem Grup PLTH Bayu Baru

Kondisi yang ada sekarang pada PLTH Bayu adalah sistem pembangkitannya dibagi menjadi 4 grup, disesuaikan dengan bebannya masing-masing, yaitu warung kuliner, pompa, kantor, dan Mesin pembuat es kristal. Dapat dilihat dari hasil simulasi dengan menggunakan *software* Homer, pada tabel berikut ini.

Tabel 3.7 Hasil simulasi dari 4 grup beban PLTH Bayu Baru

Beban	Beban th (kWh)	NPC (\$)	COE (\$/kWh)	Energy (kWh/th)	Energy Sisa (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. Hal ini dibuktikan bahwa energi sisa dari tiap beban grup jauh besarnya. Grup untuk warung energi sisanya hanya 13,70%, dan untuk mesin es energi sisanya sebesar 31,50%. Grup warung itu disuplai oleh panel surya 15 kW, 6 unit turbin angin 1 kW, dan 2 unit turbin angin 2,5 kW, jika terjadi kerusakan pada beberapa turbin angin, atau pun panel suryanya, maka beban untuk warung sudah tidak dapat terpenuhi semua. Hal ini karena tidak ada komponen pembangkitan lain yang bisa back up sistem, karena pembangkit lain mempunyai sistem yang berbeda. Sama halnya untuk beban mesin es yang hanya disuplai oleh panel surya 10 kW dan turbin angin 5 kW, ketika ada salah satu komponen dari panel surya ataupun turbin angin bermasalah maka pembuatan es kristal akan tidak optimal. Sedangkan untuk beban kantor dan pompa memiliki energi sisa atau cadangan yang terlalu besar sehingga akan kurang efektif. Itulah beberapa kelemahan dari pembagian 4 grup yang ada pada PLTH Bayu Baru.

Dari segi ekonomi yaitu keluaran NPC dan COE, terlihat harga energi per kWh untuk setiap sistem itu sangat jauh berbeda. Grup dengan beban kantor dan pompa harganya \$ 5,988/kWh dan \$ 2,301/kWh, sangat mahal. Jadi dapat disimpulkan bahwa pembagian menjadi 4 grup tersebut kurang efektif.

3.6.2. Rekonfigurasi Gabungan Sistem PLTH Bayu Baru

Rekonfigurasi gabungan dari PLTH Bayu Baru adalah sistem dimana sumber dari pembangkitan dan beban dijadikan 1. Hasil perhitungan dengan pemodelan Homer dapat dilihat pada tabel berikut ini.

Tabel 3.8 Hasil dari rekonfigurasi gabungan sistem PLTH Bayu Baru

Beban	Beban th (kWh)	NPC (\$)	COE (\$/kWh)	Energy (kWh/th)	Energy Sisa (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%, setengahnya dari total produksi energi listrik dalam satu tahun atau hampir sama dengan beban yang ada dalam satu tahun. Energi cadangan tersebut cukup sebagai energi back up ketika ada salah satu atau salah banyak komponen pembangkitan yang ada mengalami kerusakan maka komponen lain masih bisa beroperasi, sehingga semua jenis beban yang ada dapat terbebani secara maksimal. Begitu juga ketika kondisi alam yang berubah-ubah, ketika cuaca mendung atau hujan dan panel surya tidak maksimal maka sebagian besar turbin angin yang dioperasikan, dan sebaliknya dengan kondisi cuaca cerah maka panel surya dapat dioperasikan semua. Dengan konfigurasi ini dapat disimpulkan bahwa kontinuitas penyaluran listrik ke beban akan lebih terjamin, karena akan terdapat banyak sekali susunan komponen yang dapat menyalurkan energi listrik ke beban.

4. 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.

Referensi

- [1] 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
- [2] Undang-undang nomor 30 Tahun 2009 Tentang Ketenagalistrikan
- [3] ESDM. Peta potensi angin (30 Maret 2007) www.esdm.go.id

- [4] NASA Surface Meteorology and Solar Energy, diakses dari : www.eosweb.larc.nasa.gov
- [5] Bank Central Republik Indonesia. 2010. Kurs Transaksi Bank Indonesia 3 September 2010. Diakses dari http://bi.go.id/biweb/Templates/Moneter/Default_Kurs_ID
- [6] Bank Central Republik Indonesia. 2010. Suku bunga Pinjaman Investasi yang Diberikan Menurut Kelompok Bank. Diakses dari : <http://www.bi.go.id/web/id/moneter/BI+Rate/Data+BI+Rate>.
- [7] Bank Central Republik Indonesia. 2010. BI Inflasi. Diakses dari : http://bi.go.id/biweb/Templates/Moneter/Default_Inflasi.
- [8] Taufik Chemistryadha Wijaya, "Optimasi Potensi Energi Terbarukan untuk Sistem Pembangkit *Hybrid* di Desa Margajaya Bengkulu Utara Menggunakan Perangkat Lunak Homer", Tugas Akhir, Teknik Elektro, Universitas Diponegoro. Semarang. 2014.
- [9] 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.
- [10] 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.
- [11] 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.
- [12] Soetedjo Aryuanto, Abraham Lorni, Yusuf Ismail Nakhoda, "Pemodelan Sistem Pembangkit Listrik Hibrid Angin Surya", Jurusan Teknik Elektro, Fakultas Teknologi Industri. Institut Teknologi Malang, 2011.
- [13] 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.
- [14] *Getting Started Guide for Homer Legacy Version 2.68*, National Renewable Energy Laboratory of US, 2011.