



dapat diakses melalui <http://ejournal.unsrat.ac.id/index.php/jmuo>



Optimasi Kapasitas Pembangkit Listrik Tenaga Hybrid (PLTH) di Pulau Bunaken Menggunakan Software HOMER

Andreas Soba^a, Verna A. Suoth^{a*}, Hesky S. Kolibu^a

^aJurusan Fisika, FMIPA, Unsrat, Manado

KATA KUNCI

PLTH, NPC, COE, *software* HOMER.

ABSTRAK

Telah dilakukan penelitian tentang sistem pembangkit listrik tenaga *hybrid* menggunakan *Software* HOMER (*Hybrid Optimization Model For Electric Renewables*). Tujuan dari penelitian ini untuk optimasi pembangkit listrik tenaga *hybrid* di Pulau Bunaken yang efisien dengan metode simulasi menggunakan *software* HOMER. Hasil penelitian menghasilkan rancangan sistem PLTH yang optimal adalah skenario 2 dengan kontribusi Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) sebesar 1.374.514 kWh pertahun (61%), Pembangkit Listrik Tenaga Diesel (PLTD) sebesar 879.024 kWh pertahun (39%) dan kelebihan energi listrik pada skenario 2 sebesar 1.018.247 kWh pertahun (45,2 %). Nilai *Net Present Cost* (NPC) terendah sebesar US\$ 3.981.811. Nilai *Cost Of Energy* (COE) terendah sebesar 0,334 \$/kWh. Sistem ini dapat mengurangi emisi gas buang sebesar 805.750 kg/tahun jika dibayarkan untuk penalti emisi gas buang sebesar US\$ 178.965 per tahun.

KEYWORDS

PLTH, NPC, COE, HOMER Software.

ABSTRACT

Research about hybrid power plant using HOMER (*Hybrid Optimization Model For Electric Renewables*) software has been done. The purpose of this research is to optimize an efficiency hybrid power plant at Bunaken Island with simulation method using HOMER software. The simulation showed that an optimal design for hybrid power plant system is the second scenario. The solar power plant contribute to 1.374.514 kWh per year (61%), the diesel power plant contribute to 879.094 kWh per year (39%) and electricity exceed in scenario 2 is 1.018.247 kWh per year (45,2%). The lowest NPC value is US\$ 3.981.811. The lowest COE value is 0,334 \$/kWh. The system can reduce the exhaust gas emission is about 805.750 kg/year. It was equal pay for exhaust gas emission penalty the amount is US\$178.965 per year.

TERSEDIA ONLINE

01 Februari 2019

1. Pendahuluan

Kebutuhan akan energi listrik saat ini semakin besar seiring dengan perkembangan penduduk, pembangunan, serta aktifitas manusia. Peningkatan kebutuhan energi listrik ini menjadi salah satu energi yang perlu diperhatikan (Sulasno, 2009). Saat ini pembangkit energi listrik di Indonesia menggunakan minyak bumi, gas alam dan batubara. Minyak bumi, gas alam dan batubara merupakan sumber energi yang tidak terbarukan. Sistem konversi energi yang memanfaatkan sumber daya energi terbarukan

merupakan solusi saat ini dalam penyediaan energi (Djojonegoro, 1992).

Pemanfaatan sumber energi terbarukan memiliki peran aktif dalam menjawab permasalahan energi di masa yang akan datang. Energi terbarukan adalah energi yang bersifat ramah lingkungan dan memiliki cadangan yang tidak pernah habis. Energi matahari adalah contoh energi terbarukan yang bersifat terbarukan dan ketersediaannya yang melimpah di Indonesia. Selain itu tenaga surya merupakan sumber energi yang murah, bersih, ramah lingkungan dan sangat potensial untuk dikembangkan (Fresis dan Infield, 2008).

*Corresponding author: Jurusan Fisika FMIPA UNSRAT, Jl. Kampus Unsrat, Manado, Indonesia 95115; Email address: vernasuoth@unsrat.ac.id

Salah satu pulau di Indonesia yang pasokan energi listriknya belum mencapai 24 jam yaitu Pulau Bunaken. Pulau Bunaken adalah Pulau yang berada di Kecamatan Bunaken kepulauan Kota Manado Provinsi Sulawesi Utara. Secara geografis Pulau Bunaken terletak di koordinat 1°,35' LU dan 124°,46' BT. Menurut data Badan Pusat Statistik (2016), Pulau Bunaken memiliki 2 kelurahan yaitu Kelurahan Bunaken dan Alung Bana dengan jumlah penduduk 3.770 orang dan jumlah rumah tangga sebanyak 1.134. Energi listrik di Pulau Bunaken berasal dari PLTD dan PLTS. PLTD terdiri dari 2 unit generator mesin diesel yang masing-masing memiliki kapasitas terpasang 250 kW dan 200 kW. PLTS mempunyai kapasitas terpasang 335 kWp.

Proses pengembangan teknologi untuk memanfaatkan sumber-sumber energi terbarukan masih terus dikembangkan (Fresis dan Infield, 2008). Sebelumnya telah dilakukan penelitian "Optimasi kapasitas pembangkit listrik tenaga hibrida" penelitian tersebut dilakukan di Pulau Tundayang berada pada Kabupaten Serang, Provinsi Banten. Secara administratif termasuk ke dalam Kecamatan Tirtayasa. Hasil dari penelitian tersebut menghasilkan satu sistem PLTH yang telah di optimalkan dengan konfigurasi PLTD 75 kW, PLTS 117 kWp dan PLTB 60 kW. Optimasi pada sistem PLTH memiliki aspek biaya yang paling kecil dengan NPC sebesar US\$ 544.703, COE sebesar US\$ 0,349/kWh dan emisi gas buang sebesar 4.584 kg/tahun (Otong *et al.*, 2017). Sari (2015) juga melakukan penelitian yang sama menggunakan software HOMER di Kepulauan Mentawai dengan menghasilkan satu sistem PLTH dengan kapasitas masing-masing komponen yaitu photovoltaic 65 kW, 3 unit mesin diesel generator masing-masing berkapasitas 15 kW, 156 unit baterai dan bidirectional converter 78 kW. Optimasi pada sistem PLTH memiliki NPC sebesar US\$ 1.362.474 dan COE sebesar 1,485 \$/kWh. Kolibu *et al.* (2013) juga telah melakukan penelitian tentang sistem pembangkit listrik hibrida (energi angin dan matahari) menggunakan software HOMER. Hasil simulasi yang diperoleh yaitu nilai biaya bersih sekarang atau Net Present Cost (NPC) sebesar US\$ 171.447, nilai Cost of Energy (COE) sebesar 0,599 US\$/kWh dengan potensi energi matahari sebesar 8.073 kWh/m² per hari dan potensi energi angin sebesar 2,3 m/s.

Pada penelitian ini telah dilakukan Optimasi Kapasitas Pembangkit Listrik Tenaga Hybrid (PLTH) di Pulau Bunaken Menggunakan software HOMER. Optimasi yang dilakukan menghasilkan sebuah sistem PLTH yang menjadi solusi dalam penyediaan kebutuhan beban listrik di Pulau Bunaken.

2. Material dan Metode

Alat dan Bahan yang Digunakan

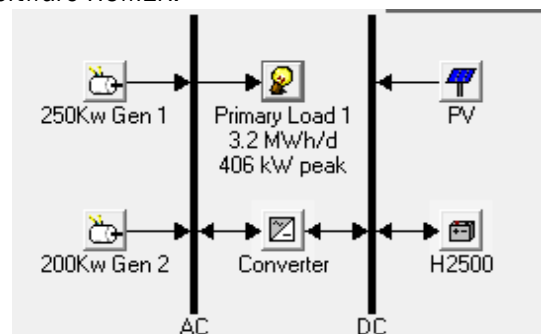
Alat - alat yang digunakan dalam penelitian ini adalah Software HOMER dan Laptop/Komputer.

Metode

Proses penelitian terbagi menjadi beberapa tahap yang dilakukan berdasarkan urutan dalam melakukan penelitian:

1. Identifikasi masalah yaitu dengan merumuskan latar belakang hingga tujuan dalam penelitian ini.
2. Studi literatur, yaitu mengumpulkan data dari jurnal dan *website* yang sesuai dengan topik penelitian yang dilakukan yaitu tentang pembangkit listrik tenaga *hybrid*
3. Observasi, yaitu pengumpulan data-data sebagai masukan simulasi dilakukan dengan survei langsung di lapangan dengan mendata beban listrik di Pulau Bunaken, pengambilan data PLTS, pengambilan data generator diesel pada PLTD.
4. Perancangan sistem PLTH (PLTS dan PLTD) menjadi dua skenario. Perancangan sistem PLTH pada skenario pertama dan skenario kedua dapat dilihat pada penjelasan berikut:
 - a. Skenario pertama

Pada skenario pertama, pembangkit listrik adalah pembangkit listrik tenaga diesel dan pembangkit listrik tenaga surya. Skenario ini adalah kondisi aktual pada Pulau Bunaken yang sudah terpasang yang terdiri dari 2 unit mesin generator diesel dengan kapasitas 250 kW, panel surya berkapasitas 335 kWp, *bi-directional inverter* 200 kW, baterai dengan kapasitas 2500 Ah. Gambar 1 menunjukkan sistem PLTH skenario pertama pada software HOMER.



Gambar 1. Sistem PLTH skenario pertama

Pemilihan komponen pembangkit yang dipakai juga memerlukan biaya untuk pengadaanya sampai biaya operasinya. Berikut merupakan harga masukan pada komponen PLTH dari skenario pertama yang ditampilkan pada Tabel 1.

Tabel 1. Harga komponen PLTH

Komponen	Pengadaan (US\$)	Pengganti (US\$)	O&M (US\$)
Photovoltaic 335kWp	117.367	117.367	0
250kW Diesel	38.333	38.333	3,750
200kW Diesel	30.667	30.667	3,000
konverter 200kW	61.335	61.335	1.200
180 Baterai	360.000	360.000	1.800

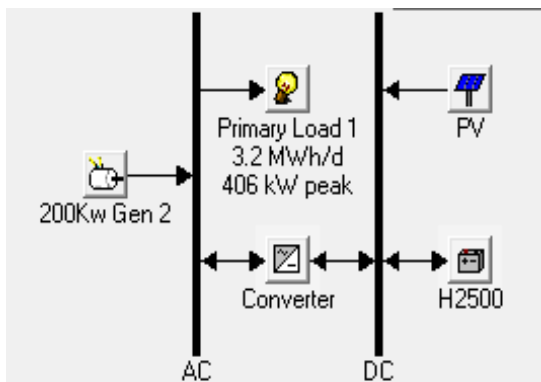
b. Skenario Kedua

Pada skenario ini PLTS yang sudah terpasang akan dioptimalkan serta kapasitas PLTD dikurangi dengan menggunakan 1 mesin generator diesel dengan kapasitas 200 kW. Daya yang dibangkitkan PLTS disesuaikan dengan kebutuhan beban yang digunakan serta dipengaruhi oleh *Panel Generation Factor* (PGF).

Panel Generation Factor (PGF) dari hasil perhitungan dengan nilai referensi CE (Collection Efficiency) panel surya pada software HOMER sebesar 80% dan nilai rata-rata intensitas cahaya matahari di Pulau Bunaken adalah sebesar 5,91 kWh/m² per hari Apabila nilai CE dan nilai rata-rata intensitas matahari di Pulau Bunaken disubstitusikan diperoleh nilai PGF sebesar 4,728 kWh/hari

Berdasarkan nilai PGF sebesar 4,728 kWh/hari dan pemakaian energi listrik selama 24 jam sebesar 3.207 kWh/hari maka kapasitas pembangkitan panel surya sebesar 678kWp.

Pada skenario pertama, panel surya sudah terpasang sebesar 335 kWp, maka kapasitas yang akan ditambahkan sebesar 343 kWp sehingga dapat dioptimalkan menjadi 678 kWp. Gambar 2 merupakan sistem PLTH pada skenario kedua.

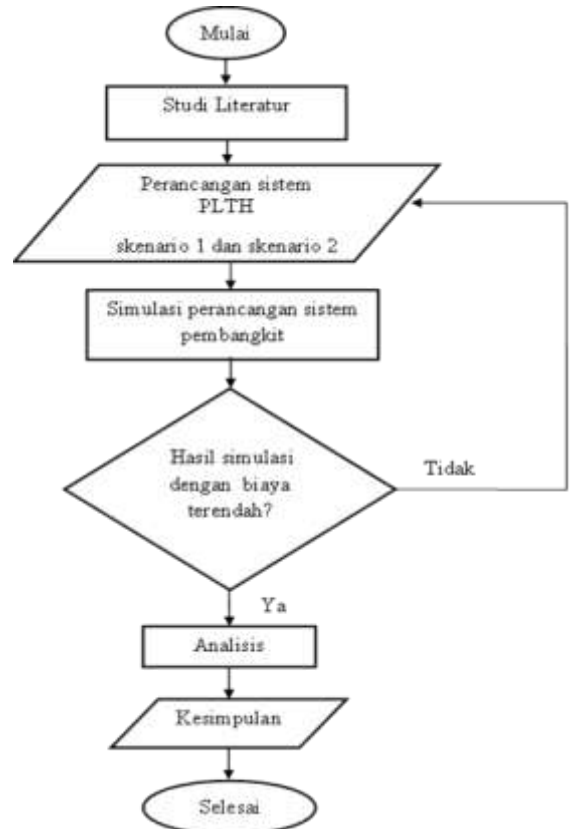


Gambar 2. Sistem PLTH skenario kedua

Tabel 2. Harga komponen PLTH skenario kedua

Komponen	Pengadaan (US\$)	Pengganti (US\$)	O&M (US\$)
Photovoltaic 678kWp	237.300	237.300	0
200kW Diesel	30.667	30.667	3.000
Konverter 200kW	61.335	61.335	1.200
Baterai 180	360.000	360.000	1.800

Secara sederhana proses penelitian optimalisasi kapasitas pembangkit listrik tenaga hybrid di Pulau Bunaken menggunakan software HOMER dapat dijelaskan melalui diagram alir pada Gambar 3.



Gambar 3. Diagram Alir Penelitian

3. Hasil dan Pembahasan

Pada hasil simulasi yang dibuat terdapat dua skenario, dimana skenario pertama ini disimulasikan menggunakan software HOMER dengan data serta kondisi aktual pembangkit listrik pada Pulau Bunaken yaitu terdiri dari PLTS dan PLTD. Pada skenario kedua PLTS dan PLTD akan dioptimalkan dengan menambahkan kapasitas pada masing-masing pembangkit serta penambahan parameter sensitivitas.

Skenario Pertama

Simulasi HOMER ini, menghasilkan optimasi sistem PLTH dengan berbagai macam nilai NPC yang beragam dari yang paling tinggi hingga yang paling rendah, seperti pada Gambar 4.

	PV	Volto (kW)	Deatr (kWh)	+2500	Conv. (kW)	Initial Capital	Operating Cost (\$/yr)	Total NPC	C/E (\$/kWh)	Pen. (\$/kWh)	Diesel (L)	Volto (kWh)	Deatr (kWh)
	335	250	200	100	200	\$607.505	340.245	\$4.078.108	0,342	0,21	319.500	1.224	3.969
	335	250		100	200	\$576.910	357.361	\$4.205.557	0,354	0,21	332.310	4.886	
	335	250	200		200	\$247.505	400.103	\$4.326.431	0,363	0,17	370.263	2.264	5.043

Gambar 4. Hasil Optimasi HOMER pada skenario pertama

Hasil simulasi yang optimal dari HOMER adalah hasil keluaran NPC (Net Present Cost) yang paling kecil. Nilai bersih sekarang (NPC) merupakan biaya yang dikeluarkan selama proyek dilaksanakan dengan waktu tertentu.

HOMER menghitung NPC dengan menggunakan persamaan berikut (Lambert et al., 2006):

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

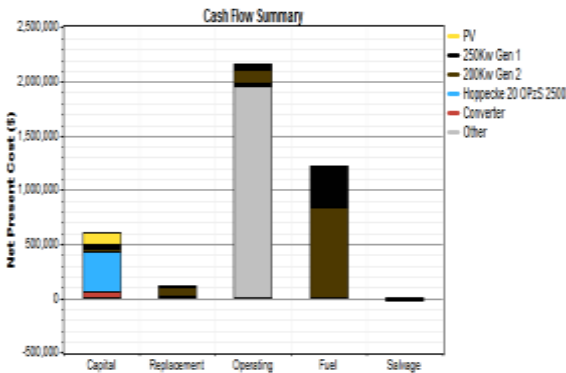
Dengan:

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

CRF = faktor pemulihan modal

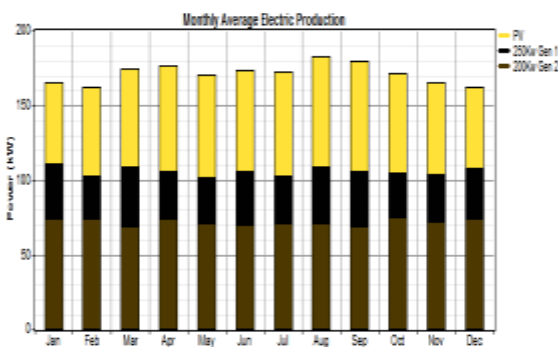
i = tingkat bunga (%)

R_{proj} = umur/masa manfaat proyek (tahun)



Gambar 5. Ringkasan biaya pada skenario pertama
Biaya terbesar yang harus dikeluarkan selama 20 tahun adalah biaya operasional dan pemeliharaan yaitu sebesar US\$ 2.155.697, biaya bahan bakar US\$ 1.221.744, biaya pengadaan US\$ 607.585 dan biaya penggantian US\$109.219.

Hasil produksi listrik dari masing-masing pembangkit dijelaskan secara rinci pada Gambar 6.



Gambar 6. Rata-rata produksi energi listrik

Gambar 6. menunjukkan rata-rata produksi energi listrik masing-masing komponen selama setahun. Total produksi listrik yang dihasilkan oleh sistem PLTD dan PLTS per tahun sebesar 1.501.286 kWh per tahun. Kontribusi panel surya sebesar 574.891 kWh per tahun (38%) dengan waktu pengoperasian sebesar 4.361 jam/tahun, generator 1 yang berkapasitas 250kWh beroperasi selama 1.224 jam/tahun dengan produksi listrik sebesar 298.245 kWh per tahun (20%), dan generator 2 yang berkapasitas 200 kWh menghasilkan listrik sebesar 628.150 kWh per tahun (42%) dengan waktu operasi selama 3.969 jam/tahun. *Excess electricity* atau kelebihan energi listrik adalah selisih total produksi energi listrik dan total beban yang disuplai yaitu sebesar 288.171 kWh per tahun (19,2 %).

Emisi gas buang sistem PLTH pada skenario pertama ini masih menghasilkan emisi gas buang yang cukup besar karena penggunaan PLTD yang membangkitkan energi listrik sebesar 62%. Tabel 2 merupakan emisi gas buang.

Tabel 3. Emisi gas buang sistem PLTD selama satu tahun

Nama polusi	Jumlah (kg/tahun)
Karbon Dioksida (CO_2)	841.567
Karbon Monoksida (CO)	2.077
Unburned Hydrocarbons (UHC)	230
Particulate matter (PM)	157
Oksida Belerang (SO_2)	1.690
Nitrogen oksida (NO_x)	18.536

Biaya penalti yang dikeluarkan untuk emisi gas buang pada skenario pertama ini sebesar US\$ 191.960 per tahun.

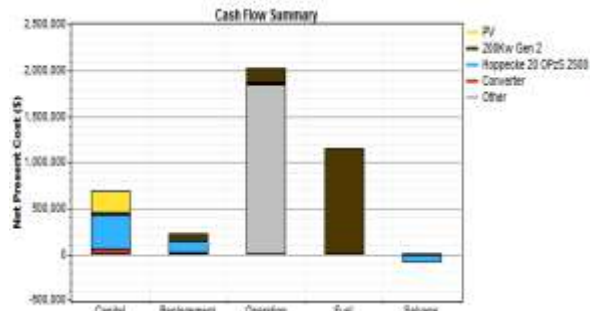
Skenario Kedua

Skenario kedua ini ditambahkan parameter sensitivitas, parameter sensitivitas ini dilakukan untuk memperoleh hasil kinerja sistem pembangkit listrik. Parameter yang ditambahkan adalah Parameter sensitivitas pada PLTS yaitu intensitas cahaya matahari sebesar 7,19kWh/m²per hari.

	PV (kW)	Deutz H2500 (kW)	Conv (kW)	Initial Capital	Operating Cost (\$/yr)	Total NPC	COE (\$/kWh)	Pen. Frac.	Diesel (L)	Deutz (hrs)
Scenario 1	670	200	180	200	\$689,302	\$3,981,811	0.304	0.25	267,940	4,887
Scenario 2	200	180	200	200	\$452,082	\$3,332,480	0.447	0.00	434,434	0.011

Gambar 7. Hasil optimasi sistem PLTH pada skenario kedua

Nilai NPC sistem PLTH pada skenario kedua berkurang dengan selisih sebesar US\$ 94.377 dari nilai NPC pada skenario pertama dimana nilai NPC pada skenario pertama yaitu US\$ 4.076.188 dan skenario kedua US\$ 3.981.811. Ringkasan biaya pada skenario kedua dapat dilihat pada Gambar 8.

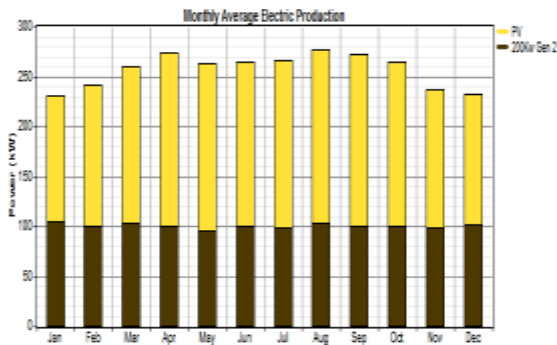


Gambar 8. Ringkasan biaya pada skenario kedua

Pada skenario kedua biaya terbesar yang harus dikeluarkan selama 20 tahun yaitu biaya operasional dan pemeliharaan sebesar US\$ 2.004.500, biaya bahan bakar US\$ 1.139.035,

biaya pengadaan US\$ 689.302 dan biaya pengganti US\$ 225.237.

Hasil produksi listrik dari masing-masing pembangkit pada skenario kedua dijelaskan secara rinci pada Gambar 9.



Gambar 9. Rata-rata produksi energi listrik

Gambar 9 menunjukkan rata-rata produksi energi listrik masing-masing komponen selama setahun. Total produksi listrik yang dihasilkan oleh sistem PLTD dan PLTS per tahun sebesar 2.253.538 kWh per tahun. Kontribusi panel surya sebesar 1.374.514 kWh per tahun (61%) dengan waktu pengoperasian selama 4.361 jam/tahun, dan generator 1 sebesar 879.024 kWh per tahun (39%) dengan waktu pengoperasian selama 4.887 jam/tahun. *Excess electricity* atau kelebihan energi listrik pada sistem ini adalah sebesar 1.018.247 kWh per tahun (45,2 %).

Emisi gas buang sistem PLTH pada skenario kedua ini berkurang dibandingkan dengan skenario pertama. Hal ini disebabkan karena penggunaan serta kapasitas PLTD berkurang. Tabel 4 merupakan emisi gas buang yang dihasilkan

Tabel 4. Emisi gas buang sistem PLTH selama satu tahun.

Nama Polusi	Jumlah (kg/tahun)
Karbon Dioksida (CO_2)	784.595
Karbon Monoksida (CO)	1.937
Unburned Hydrocarbons (UHC)	215
Particulate matter (PM)	146
Oksida Belerang (SO_2)	1.576
Nitrogen oksida (NO_x)	17.281

Biaya penalti yang dikeluarkan untuk emisi gas buang pada skenario ini sebesar US\$ 178.965 per tahun.

Analisis parameter

Dari hasil perbandingan parameter-parameter yang dilakukan maka didapatkan hasil analisis seperti berikut:

1. Semakin besar kapasitas energi terbarukan yang digunakan, maka *capital cost* atau biaya awal yang dihasilkan akan semakin besar. Namun semakin besar kapasitas energi terbarukan yang terpasang, akan menurunkan tingkat penggunaan bahan bakar dan biaya

yang dikeluarkan untuk bahan bakar juga akan berkurang.

2. Semakin rendah nilai NPC yang dihasilkan sistem PLTH, maka sistem bekerja lebih efisien karena konsumsi bahan bakar serta biaya bahan bakar yang berkurang.
3. Semakin tinggi penggunaan bahan bakar yang dilakukan oleh sistem, maka emisi gas buang yang dihasilkan oleh sistem akan semakin besar, sebaliknya semakin rendah penggunaan bahan bakar, maka emisi gas buang akan semakin kecil.

Tabel 5. Perbandingan parameter-parameter

Parameter	Skenario 1	Skenario 2	Selisih
Konsumsi bahan bakar (liter/tahun)	319.583	297.948	21.635
Biaya bahan bakar (US\$/tahun)	119.843	111.730	8.113
NPC (US\$)	4.076.188	3.981.811	94.377
Produksi energi listrik (kWh/tahun)	1.501.286	2.253.538	752.252
Kelebihan energi listrik (kWh/tahun)	288.171	1.018.247	730.076
Emisi gas buang (kg/tahun)	864.257	805.750	58.507

Berdasarkan analisis yang dilakukan dari perbandingan parameter-parameter pada skenario pertama dan kedua, menunjukkan peran energiterbarukan kaitannya dengan dampak ekonomi yang dihasilkan oleh sistem. Dari semua analisis yang dilakukan, maka sistem PLTH dengan NPC terendah adalah sistem PLTH pada skenario kedua. Keunggulan sistem PLTH pada skenario kedua dapat dilihat pada Tabel 4.7. Jika dilihat dari segi kelistrikan yang dihasilkan oleh sistem PLTH pada skenario kedua cukup besar, maka kelebihan energi listrik yang dihasilkan pada skenario kedua dapat digunakan untuk meminimalkan dampak ekonomi yang akan terjadi pada saat sistem beroperasi.

4. Kesimpulan

Hasil simulasi dari optimasi pembangkit listrik tenaga *hybrid* di Pulau Bunaken menghasilkan beberapa kesimpulan sebagai berikut:

1. Sistem PLTH yang optimal menggunakan *software* HOMER adalah skenario kedua dengan kapasitas pada masing-masing pembangkit adalah: PLTD 200kW dan PLTS 678kWp.
2. Hasil pengujian dengan menggunakan *software* HOMER, sistem PLTH skenario kedua diperoleh total produksi listrik sebesar 2.253.538 kWh per tahun dengan kontribusi i panel surya sebesar 1.374.514 kWh per tahun (61%), dan generator diesel sebesar 879.024 kWh per tahun (39%) dengan kelebihan energi listrik

pada sistem ini adalah sebesar 1.018.247 kWh per tahun (45,2 %).

3. Sistem PLTH pada skenario kedua menghasilkan nilai NPC sebesar US\$ 3.981.811 dan biaya energi listrik (COE) sebesar US\$ 0,334/kWh. Emisi gas buang sebesar 805.750 kg/tahun jika dibayarkan untuk penalti emisi gas buang sekitar US\$ 178.965 per tahun.

Daftar Pustaka

- Badan Pusat Statistik Kota Manado. 2016. Bunaken Kepulauan Dalam Angka. BPS 71710.0401.
- Djojonegoro, W . 1992, Pengembangan dan penerapan energi baru dan terbarukan: Lokakarya. Biro Mature Unit (BMU) untuk pengembangan masyarakat pedesaan, BPPPT, Jakarta
- Fresis, L and Infield, D. 2008. *Renewable Energy in Power System*. West Sussex: Jhon Wiley and Son, Ltd. Publication.
- Kolibu, S. H., B. M. Lumi, dan A. S. Arota. 2013. Perancangan Sistem Pembangkit Listrik Hibrida (Energi Angin dan Matahari) Menggunakan Hybrid Optimization Model For Electric Renewables (HOMER). *Jurnal MIPA UNSRAT Online* **2(2)**: 145-150.
- Lambert, T., P. Gilman, and P. Lilienthal. 2006. *Micropower System Modeling with HOMER. Integration of Alternative Sources of Energy*, United States of America : John Wiley & Sons Inc. **15**: 379-418.
- Otong, M., Alimuddin, dan I. Mas'ud. 2017. Optimasi kapasitas pembangkit listrik tenaga hibrida menggunakan homer di Pulau Tunda. *Jurnal Ilmiah Setrum*. **6(1)**: 1-13.
- Sari, D. P. 2015. Optimalisasi desain system pembangkit listrik tenaga hybrid diesel generator-photovoltaic array menggunakan HOMER. *Jurnal Nasional Teknik Elektro*. **4 (1)**: 1-12.
- Sulasno. 2009. Teknik Konversi Energi Listrik dan Sistem Pengaturan. Graha Ilmu, Yogyakarta.