

Optimasi pembangkit daya hibrid dengan energi terbarukan (studi kasus di Desa Koak, NTT)

Eli Kumolosari¹, Yulia Venti Yoanita², Sinung Tirtha Pinindriya³

¹Departemen Teknik Mesin

Sekolah Tinggi Teknologi Adisutjipto Yogyakarta

²Fakultas Keguruan dan Ilmu Pendidikan

Universitas PGRI Yogyakarta

³Pusat Teknologi Penerbangan

Lembaga Penerbangan dan Antariksa Nasional (LAPAN)

Email Korespondensi: *elikumolosari@stta.ac.id

Abstrak. Rasio elektrifikasi Indonesia masih belum 100%. Dua Propinsi bahkan masih di bawah 70%, salah satunya Nusa Tenggara Timur, yaitu sebesar 59,85%. Salah satu desa di NTT, yaitu Desa Koak, sebanyak 457 dari 471 KK belum menikmati listrik. Di sisi lain, desa tersebut memiliki potensi energi surya dan angin yang cukup baik. Penelitian dilakukan untuk mendapatkan sistem hibrid yang paling optimal untuk diterapkan di desa tersebut. Penelitian dilakukan dengan simulasi menggunakan *software* HOMER Pro. Hasil simulasi menunjukkan bahwa sistem hibrid yang paling optimal adalah kombinasi PV dan turbin angin, dengan tambahan komponen baterai dan *converter*. Energi surya menyumbang produksi daya sebesar 92,3% dari total daya yang dihasilkan, dan energi angin menyumbang 7,7%. Biaya awal yang dibutuhkan untuk membangun sistem ini adalah \$14.328 dan NPC sebesar \$24.586. Sistem ini ramah lingkungan karena memiliki nilai emisi 0.

Kata kunci: optimasi, pembangkit daya, HOMER Pro, energi terbarukan, energi surya, energi angin, NTT

1. Pendahuluan

Indonesia merupakan negara berkembang dengan rasio elektrifikasi sebesar 95,35%, yang artinya 4,65% rakyat Indonesia masih belum bisa menikmati listrik [1]. Dua Propinsi bahkan rasio elektrifikasinya masih di bawah 70%, yaitu Nusa Tenggara Timur dan Papua dengan rasio elektrifikasi 59,85% dan 61,42% secara berturut-turut. Di sisi lain, pemanfaatan energi terbarukan sebagai pembangkit daya semakin banyak dilakukan. Ditambah lagi, sistem tersebut ramah lingkungan. Sumber energi terbarukan sendiri cukup banyak macam dan ragamnya, mulai dari surya, angin, air, biomasa, dan sebagainya [2][3].





Gambar 1. Rasio elektrifikasi di Indonesia [1]

Beberapa penelitian telah dilakukan terkait sistem pembangkit daya tersebut. Banyak yang mengaplikasikan sistem hibrid karena lebih handal dan lebih murah dibandingkan dengan sistem yang hanya menggunakan satu sumber saja [4,5]. Sistem hibrid adalah sistem yang menggunakan dua atau lebih sumber daya, misalnya PV-angin-diesel, PV-angin, PV-diesel, angin-diesel, dll. Sistem tersebut bukan lagi merupakan sistem baru karena telah digunakan sejak dua dekade terakhir [6]. Secara umum ada 3 teknik konfigurasi sistem pembangkit hibrid berdasarkan tegangannya [7], yaitu:

- a. Sistem pembangkit hibrid dengan kopling AC
- b. Sistem pembangkit hibrid dengan kopling DC
- c. Sistem pembangkit hibrid dengan kopling ganda (AC dan DC)

Penelitian sistem hibrid juga dilakukan oleh Dibrab dan Sopian [8] di mana objeknya adalah tiga kota di Iraq. Hasil penelitian menunjukkan bahwa sistem hibrid PV-angin bisa diterapkan di pedesaan yang bergurun ataupun di daerah terpencil di Iraq. Rehman dkk [3] melakukan studi kelayakan sistem pembangkit daya hibrid dengan angin-PV-diesel di pedesaan di Arab Saudi. Studi dilakukan dengan simulasi menggunakan *software* Homer. Hasil penelitian menunjukkan bahwa sistem bisa memenuhi kebutuhan energi pedesaan dengan 4,1% kelebihan energi. Sistem hibrid tersebut menghasilkan daya sebesar 35% dari energi terbarukan (26% angin dan 6% PV) dan sisanya dihasilkan oleh diesel (65%). Komponen yang digunakan adalah 3 turbin angin (masing-masing 600 kW), PV (1000 kW), dan 4 diesel dengan masing-masing menghasilkan daya 1120 kW.

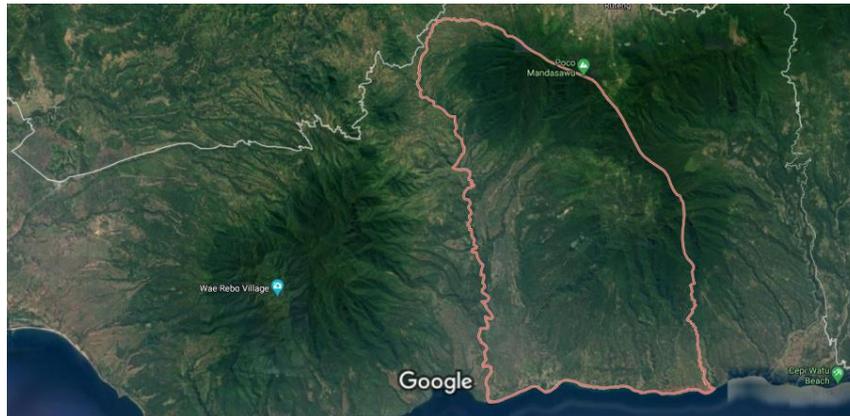
Penelitian tentang kontrol otomatis daya reaktif pada suatu sistem pembangkit hibrid angin – diesel terisolasi, juga telah dilakukan, dimana pembangkit energi angin menggunakan generator induksi dan genset menggunakan generator sinkron [9]. Berbeda dengan Nazid, yang melakukan penelitian hibrid dengan menggunakan simulasi Matlab Simulink [10].

2. Latar Belakang

Propinsi Nusa Tenggara Timur (NTT) merupakan Propinsi yang beribukota di Kupang dan terletak di sebelah tenggara Indonesia. Propinsi ini terdiri dari beberapa pulau, yaitu Pulau Flores, Pulau Sumba, Pulau Timor, Pulau Alor, Pulau Lembata, Pulau Rote, Pulau Sabu, Pulau Adonara, Pulau Solor, Pulau Komodo dan Pulau Palue. NTT memiliki 22 kota dan kabupaten, 309 kecamatan, dan 3353 desa. Dari ribuan desa di NTT, beberapa desa masih belum bisa menikmati listrik. Salah satu di antaranya adalah Desa Koak, Kecamatan Satar Mese, Kabupaten Manggarai. Desa tersebut terletak di Pulau Flores dan letaknya berada di tepi pantai, seperti terlihat pada Gambar 2. Dari ratusan KK yang ada di Desa Koak, baru 14 KK yang bisa menikmati listrik (bukan PLN), dan sisanya sebanyak 457 KK masih belum bisa [11]. Di sisi lain, Desa Koak memiliki sumber daya energi yang bisa dimanfaatkan, yaitu surya dan angin.

Berdasarkan latar belakang di atas, dalam penelitian ini akan disajikan rancangan pembangkit daya yang paling optimal untuk diterapkan di Desa Koak, dengan energi hibrid. Meskipun ada berbagai macam jenis kombinasi yang dipakai dengan memanfaatkan sumber energi, untuk mikrogrid daerah

yang terisolasi, umum digunakan kombinasi antara panel surya dan turbin angin [12]. Asumsi pada rancangan ini adalah listrik untuk 40 KK. Penelitian dilakukan dengan simulasi menggunakan *software* HOMER Pro (*Evaluation Version*). HOMER Pro merupakan *software* yang berfungsi untuk simulasi sistem pembangkit daya hibrid yang tujuannya untuk mendapatkan sistem yang paling optimal. Hasil dari penelitian ini diharapkan bisa menjadi gambaran penyediaan listrik paling optimal di Desa Koak, sehingga masyarakat Desa Koak bisa menikmati listrik dan meningkatkan taraf hidupnya.



Gambar 2. Peta Kecamatan Satar Mese, Kabupaten Manggarai [13]

2.1. Profil Desa Koak

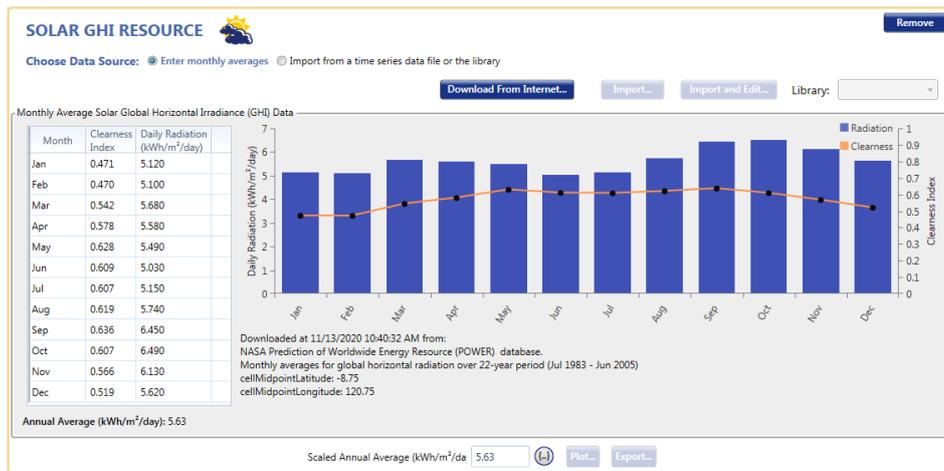
Desa Koak berpenduduk 1908 jiwa dengan 471 kepala keluarga. Tabel 1 menunjukkan Profil Desa Koak.

Tabel 1. Profil Desa Koak, Kecamatan Satar Mese, Kabupaten Manggarai [11]

Luas	25,6 km ²
Jumlah penduduk	1908
Jumlah KK	471
Jumlah KK pengguna listrik	14 (Bukan PLN)
Jumlah KK bukan pengguna listrik	457
BB untuk memasak	Kayu Bakar
Sungai	Tidak Ada
Pantai	Ada
Jumlah sekolah	4
Jumlah tempat ibadah	1
Sarana transportasi antar desa (darat)	Ada, dengan trayek tetap
Kondisi jalan darat	Aspal/beton, dapat dilalui kendaraan bermotor roda 4 atau lebih
Titik koordinat	8,7990°LS dan 120,4990°BT
Geografi	Dataran, tinggi DPL 0-600 m

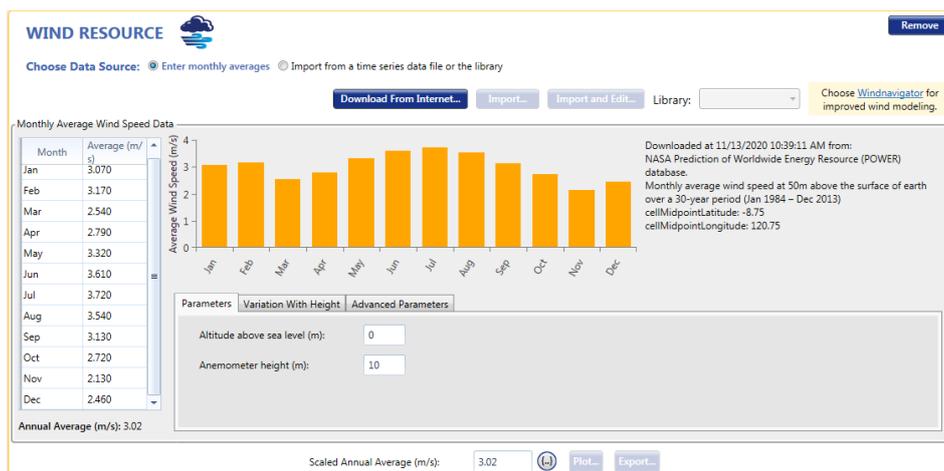
2.2. Potensi Energi di Desa Koak

Desa Koak memiliki potensi energi terbarukan berupa surya dan angin yang cukup baik. Gambar 3 dan 4 menunjukkan potensi energi surya dan angin di Desa Koak secara berturut-turut. Dari Gambar 3 terlihat bahwa rata-rata radiasi surya di Desa Koak adalah 5,63 kWh/m²/hari. Nilai tersebut cukup baik untuk dimanfaatkan sebagai pembangkit listrik.



Gambar 3. Potensi energi surya di Desa Koak

Selanjutnya, dari Gambar 4 terlihat bahwa rata-rata kecepatan angin di Desa Koak adalah 3,02 m/s. Nilai tersebut sedikit berada di atas nilai minimal untuk dimanfaatkan sebagai pembangkit listrik, sehingga akan dimasukkan ke simulasi sebagai pertimbangan.



Gambar 4. Potensi energi angin di Desa Koak

Pada penelitian ini digunakan sistem pembangkit hibrid dengan kombinasi tenaga surya fotovoltaik (PV) dan turbin angin, serta diesel, dengan tambahan komponen baterai sebagai penyimpan energi (daya) listrik dan *converter* sebagai pengubah aliran listrik.

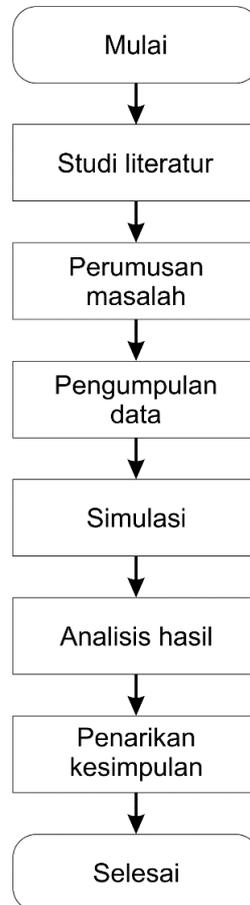
3. Metode Penelitian

Pelaksanaan penelitian dimulai dengan studi literatur, dilanjutkan perumusan masalah, kemudian pengumpulan data sekunder yang diambil dari berbagai sumber, simulasi dengan HOMER Pro, analisis hasil, penarikan kesimpulan, dan selesai. Gambar 5 adalah diagram alir penelitian.

Simulasi dilakukan dengan menggunakan *software* HOMER Pro (*Evaluation Version*). Diagram alir simulasi terlihat pada Gambar 6.

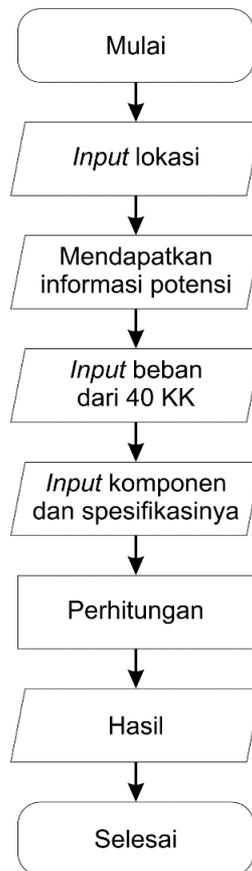
Langkah pertama dalam simulasi ini adalah memasukkan lokasi yang menjadi objek penelitian, yaitu Desa Koak, Kecamatan Satar Mese, Kabupaten Manggarai, NTT. Lokasi tersebut akan merujuk pada sumber daya alam yang tersedia di tempat tersebut. Dalam penelitian ini, sumber daya yang dimanfaatkan adalah surya dan angin. Potensi tersebut digunakan sebagai pertimbangan awal apakah

memungkinkan untuk dimanfaatkan sebagai pembangkit daya atau tidak. Data potensi surya dan angin diperoleh dari *website* NASA yang menjadi rujukan *software* HOMER Pro ini.

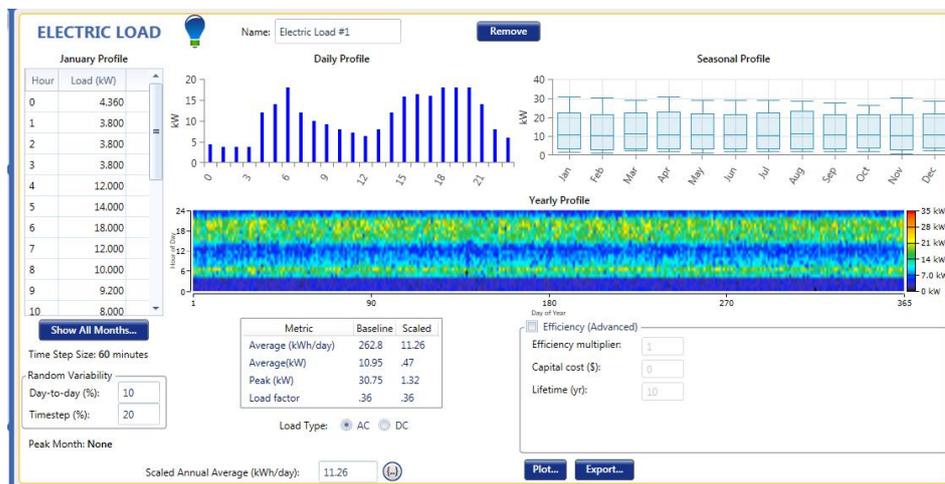


Gambar 5. Diagram alir penelitian

Langkah selanjutnya adalah memasukkan beban per jam untuk 40 KK, seperti terlihat pada Gambar 7. Data beban tersebut diperoleh dari asumsi penggunaan daya per jam, di mana pada pukul 18.00 – 20.00 merupakan puncak beban. Hal ini disebabkan seluruh anggota keluarga sudah berada di rumah dan melakukan aktivitas di rumah. Pada pukul 06.00, beban juga berada di puncak karena anggota keluarga mulai beraktivitas kembali, seperti menyetrika dan menyalakan pompa air. Sementara beban terendah terjadi pada jam istirahat malam, di mana diasumsikan bahwa semua alat elektronik dimatikan, kecuali sedikit lampu saja.

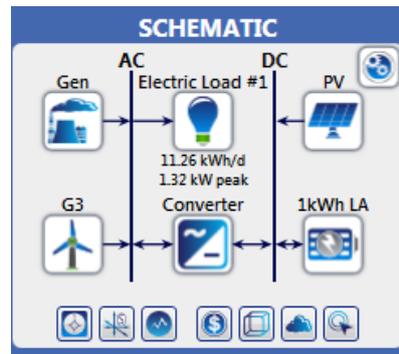


Gambar 6. Diagram alir simulasi



Gambar 7. Beban daya 40 KK

Setelah data beban dimasukkan, langkah selanjutnya adalah memasukkan beberapa komponen, yaitu seperti terlihat pada Gambar 8. Komponen tersebut adalah PV, turbin angin, genset, *converter*, dan baterai. Genset berbahan bakar solar dimasukkan sebagai pertimbangan sistem hibrid yang paling optimal.



Gambar 8. Konfigurasi komponen dalam simulasi

Proses *input* komponen membutuhkan beberapa data, yaitu harga di pasaran (dalam USD), *lifetime*, kapasitas, serta harga bahan bakar (untuk genset). Gambar 9 menunjukkan salah satu contoh *input* data komponen, dalam hal ini adalah PV. Langkah terakhir adalah perhitungan hingga didapatkan hasil.

Gambar 9. Komponen PV

4. Hasil dan Pembahasan

Perhitungan oleh HOMER Pro dilakukan setelah semua langkah di atas selesai. Hasil simulasi ditunjukkan oleh Gambar 10, di mana baris pertama menunjukkan sistem yang paling direkomendasikan untuk diterapkan di Desa Koak. Tabel tersebut diurutkan berdasarkan keoptimalannya, sehingga yang paling bawah adalah sistem yang paling tidak direkomendasikan.

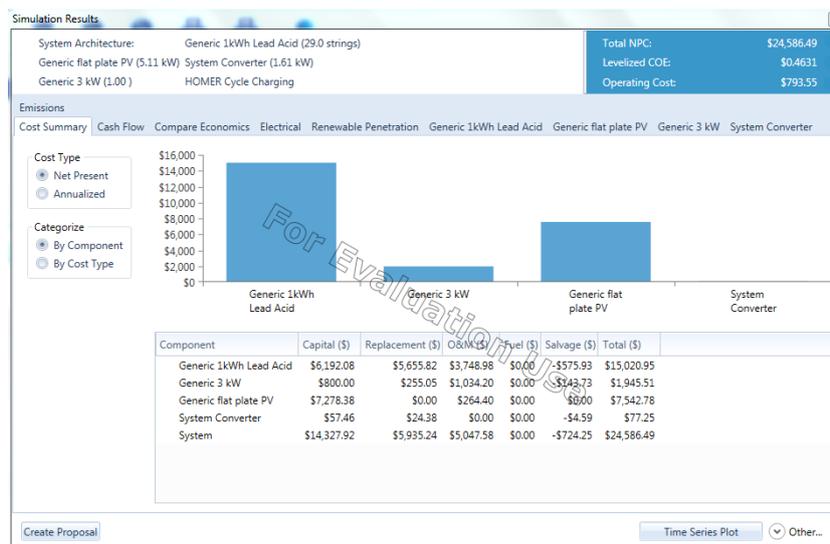
Pada baris pertama terlihat bahwa komponen yang digunakan adalah PV, turbin angin, baterai, dan *converter*. Genset tidak termasuk dalam sistem karena dianggap tidak optimal jika digabungkan dengan sistem tersebut. Sedangkan pada baris terakhir hanya menggunakan genset saja. Pada Gambar 10 juga terlihat spesifikasi komponen yang dibutuhkan, yaitu:

- Turbin angin 3 kW (1 buah), menghasilkan 0,081 kW
- PV 5,11 kW, menghasilkan 0,971 kW atau 23,3 kWh/hari
- Baterai 1 kWh, 12 V (29 buah)
- Sistem *converter* 1,61 kW

Architecture								Cost				System			Gen			
PV (kW)	G3	Gen (kW)	1kWh LA	Converter (kW)	Dispatch	NPC (\$)	COE (\$)	Operating cost (\$/yr)	Initial capital (\$)	Ren. Frac (%)	Total Fuel (L/yr)	Hours	Production (kWh)	Fuel (L)	O&M Cost (\$/yr)	Fuel Co (\$/yr)		
5.11	1		29	1.61	CC	\$24,586	\$0.463	\$793.55	\$14,328	100	0							
5.63			33	1.98	CC	\$25,072	\$0.474	\$776.75	\$15,131	100	0							
3.72		1.50	17	1.12	LF	\$27,929	\$0.526	\$806.82	\$17,499	91.3	134	594	359	134	26.7	88.8		
3.07	1	1.50	17	1.10	LF	\$27,964	\$0.526	\$819.04	\$17,376	91.8	126	558	338	126	25.1	83.4		
		5	1.50	1.70	CC	\$46,305	\$0.872	\$2,279	\$15,591	33.4	801	1,855	2,737	801	83.5	529		
		1.50	7	0.813	CC	\$53,318	\$1.00	\$3,346	\$10,064	0	1,428	3,507	4,805	1,428	158	942		
7.58	1	1.50		1.21	CC	\$79,282	\$1.49	\$4,572	\$20,176	27.1	1,243	6,392	2,996	1,243	288	820		
7.34		1.50		1.26	CC	\$79,320	\$1.49	\$4,664	\$19,032	22.4	1,307	6,615	3,190	1,307	298	863		
		5	1.50		CC	\$89,347	\$1.68	\$5,941	\$12,541	10.2	1,522	7,763	3,690	1,522	349	1,004		
		1.50			CC	\$90,301	\$1.70	\$6,324	\$8,541	0	1,819	8,760	4,596	1,819	394	1,201		

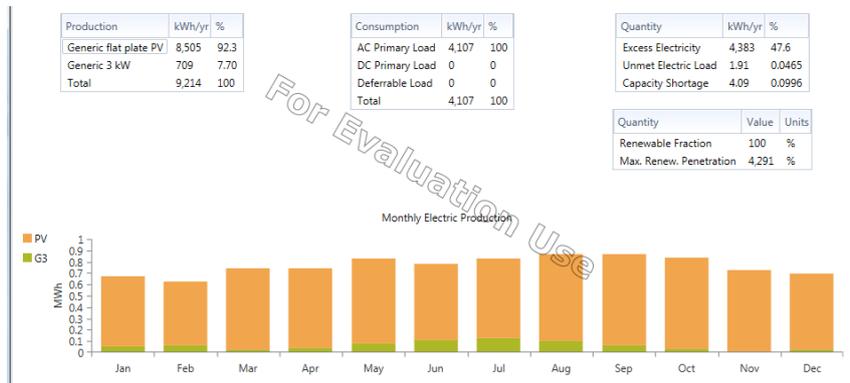
Gambar 10. Hasil simulasi dalam tabel

Dari hasil simulasi juga didapatkan data modal awal yaitu \$14.328 dan NPC (*Net Present Cost*) sebesar \$24.586. NPC pada sistem yang direkomendasikan merupakan yang terendah nilainya. Komponen yang membutuhkan biaya tertinggi adalah baterai, di mana NPC nya mencapai \$15.020,95. Di sisi lain, komponen yang membutuhkan biaya terendah adalah *converter*, di mana NPC nya adalah \$77,25. Selanjutnya, pada baris paling bawah, yaitu sistem yang paling tidak direkomendasikan, modal awalnya hanya \$8.541, namun NPC nya mencapai \$90.301. Grafik biaya sistem yang direkomendasikan dapat dilihat pada Gambar 11.

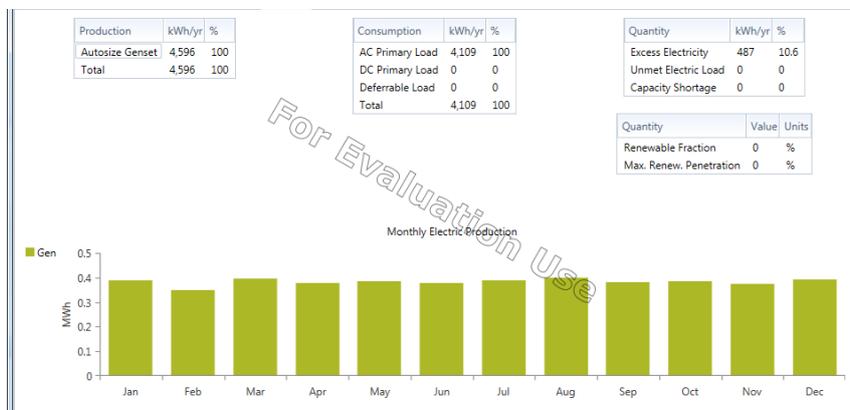


Gambar 11. Biaya yang dibutuhkan oleh sistem

Selain biaya, hasil simulasi juga menunjukkan daya per bulan yang diproduksi oleh sistem seperti terlihat pada Gambar 12. Dari Gambar 12 (a) terlihat bahwa terjadi fluktuasi tiap bulannya yang dipengaruhi oleh rata-rata radiasi matahari serta rata-rata kecepatan angin per bulan. Daya yang dihasilkan tersebut disumbang oleh energi surya sebesar 92,3% dan energi angin sebesar 7,7%. Daya tertinggi yang bisa dihasilkan oleh sistem pada Gambar 12 (a) adalah mendekati 0,9 MWh. Kemudian Gambar 12 (b) merupakan sistem yang paling tidak direkomendasikan. Dari grafik terlihat bahwa daya yang dihasilkan lebih stabil, karena sumber energinya adalah solar. Akan tetapi, daya tertinggi yang bisa dihasilkan hanya sekitar 0,4 MWh.



(a)



(b)

Gambar 12. Daya yang diproduksi oleh sistem (a) yang direkomendasikan dan (b) yang paling tidak direkomendasikan

Selanjutnya, hasil simulasi juga menunjukkan bahwa emisi yang dihasilkan oleh sistem pembangkit daya yang direkomendasikan adalah 0 kg/tahun seperti terlihat pada Gambar 13 (a). Hasil tersebut menunjukkan bahwa sistem ini sangat ramah lingkungan. Hal ini tentu saja karena sumber daya yang digunakan adalah energi terbarukan. Kemudian, pada Gambar 13 (b) terlihat emisi yang dihasilkan oleh sistem yang paling tidak direkomendasikan.

Quantity	Value	Units	Quantity	Value	Units
Carbon Dioxide	0	kg/yr	Carbon Dioxide	4,762	kg/yr
Carbon Monoxide	0	kg/yr	Carbon Monoxide	30.0	kg/yr
Unburned Hydrocarbons	0	kg/yr	Unburned Hydrocarbons	1.31	kg/yr
Particulate Matter	0	kg/yr	Particulate Matter	0.182	kg/yr
Sulfur Dioxide	0	kg/yr	Sulfur Dioxide	11.7	kg/yr
Nitrogen Oxides	0	kg/yr	Nitrogen Oxides	28.2	kg/yr

(a)

(b)

Gambar 13. Emisi yang dihasilkan sistem (a) yang direkomendasikan dan (b) yang paling tidak direkomendasikan

Perencanaan dan penelitian sistem hibrid juga harus mempertimbangkan terkait efisiensi penggunaan daya dan mengurangi pemakaian bahan bakar untuk menghemat cadangan fosil dunia. Emisi yang dihasilkan dari penggunaan bahan bakar harus dikurangi untuk menciptakan atmosfer yang bersih bagi makhluk hidup. Perkembangan teknologi harus efisien dan ramah terhadap lingkungan untuk kesejahteraan manusia.

5. Kesimpulan

Dari penelitian yang telah dilakukan, dapat ditarik beberapa kesimpulan sebagai berikut:

- Desa Koak memiliki potensi energi surya dan angin yang cukup baik sehingga bisa dimanfaatkan sebagai pembangkit daya.
- Hasil simulasi menunjukkan bahwa sistem hibrid paling optimal untuk Desa Koak adalah kombinasi PV dan turbin angin.
- Energi surya menyumbang produksi daya sebesar 92,3% dari total daya yang dihasilkan, dan energi angin menyumbang sisanya, yaitu 7,7%.
- Biaya awal yang dibutuhkan untuk membangun sistem ini adalah \$14.328 dan NPC (*Net Present Cost*) sebesar \$24.586.
- Sistem ramah lingkungan.

6. Daftar Pustaka

- [1] Kementerian ESDM. 2017. Rasio Elektrifikasi 2017, <https://www.esdm.go.id/assets/media/content/content-rasio-elektrifikasi.pdf> diakses pada 10 November 2020 pukul 11.41 WIB.
- [2] Wang, I., Nehrir, M.H. 2008. Power Management of a Stand-Alone Wind/Photovoltaic/ Energy System, *IEEE Transactions On Energy Conversion*, Vol. 23, No. 3, September 2008.
- [3] Rehman, S., Alam, M.Md., Meyer, J.P., Al-Hadhrami, L. M. 2012. Feasibility Study of A Wind - Pv - Diesel Hybrid Power System For A Village. *Renewable Energy*, 38: 258-268.
- [4] Muselli, M., Notton, G., Louche, A. Design of hybrid-photovoltaic power generator, with optimization of energy management. *Soalr energy* 1999;65(3):143-57.
- [5] Bagen BR. Evaluation of different operating strategies in small stand-alone power systems. *IEEE Transactions on Energy Conversion* 2005;20(3):654-60.
- [6] Yang H, Wei Z, Chengzhi L. Optimal design and techno-economic analysis of a hybrid solar-wind power generation system. *Applied Energy* 2009;86:163.
- [7] Weldermariam, L.E. 2010. Genset – Solar -Wind Hibrid Power System of Off Grid Power Station for Rural Applications. Master thesis in Electrical Power Engineering, Delft University of Technology. Delft.
- [8] Dhrab SS, Sopian K. Electricity generation of hybrid PV/wind systems in Iraq. *Renewable Energy* 2010;35:1303-7.
- [9] R.C. Bansal, 2006, Automatic Reactive-Power Control of Isolated WindDiesel Hibrid Power System. *IEEE*.
- [10] Moubayed, Nazih, 2009, Control of an Hibrid Solar-Wind System with Acid Battery for Storage, *Journal Wseas Transactions on Power Systems*.
- [11] BPS Kabupaten Manggarai. 2020. Kecamatan Satar Mese dalam Angka 2020 <https://manggaraikab.bps.go.id/publication/2020/09/28/52c043d61d2180791c7962ce/kecamatan-satar-mese-dalam-angka-2020.html> diakses pada 11 November 2020 pukul 20.35 WIB.
- [12] Ahmed N. A. Miyatake M. A, 2006, Stand-Alone Hibrid Generation System Combining Solar Photovoltaic and Wind Turbine with Simple Maximum Power Point Tracking Control. In *Conf. Rec IEEE-IPEMC*.
- [13] Google Maps. 2020. “Peta Kecamatan Satar Mese, Kabupaten Manggarai”. https://www.google.com/maps?=-satar+mese+manggarai&rlz=1C1CHWL_enID803ID803&um=1&ie=UTF-8&sa=X&ved=2ahUKEwiZ6oXzwpXtAhV_TjABHbccAtkQ_AUoAXoECAYQAw diakses pada 10 November pukul 14.15 WIB.