

PERANCANGAN SISTEM MIKROGRID CERDAS BERBASIS ENERGI TERBARUKAN UNTUK PABRIK ES NELAYAN KAPASITAS 4 KW

DESIGN OF SMART MICROGRID SYSTEM BASED ON RENEWABLE ENERGY FOR FISHERMEN'S ICE FACTORY 4 KW CAPACITY

Mukhlis Ali¹, Harry Setyo Wibowo^{2*}

¹Universitas Nusa Putra

²Balai Besar Bahan dan Barang Teknik

Diterima: 10 September 2019

Direvisi: 2 Oktober 2019

Disetujui: 22 Oktober 2019

ABSTRAK

Indonesia merupakan negara kepulauan dengan banyak pulau-pulau kecil yang sebagian besar penduduknya bermata pencaharian sebagai nelayan tradisional. Salah satu kendala yang dihadapi nelayan tradisional tersebut adalah ketersediaan es balok sebagai media pendingin ikan hasil tangkapan mereka. Selain itu ketersediaan listrik juga menjadi masalah tersendiri akibat masih sangat bergantung terhadap ketersediaan solar sebagai bahan bakar PLTD. Penelitian ini bertujuan untuk merancang sebuah sistem mikrogrid cerdas berbasis energi terbarukan yang diharapkan dapat berfungsi sebagai penyuplai listrik untuk pabrik es lokal yang dapat memenuhi kebutuhan es nelayan di pulau terpencil. Penelitian ini mengambil lokasi di Karimunjawa sebagai salah satu kepulauan terpencil dengan mayoritas penduduknya bekerja sebagai nelayan. Optimasi rancangan yang dibuat dibantu dengan penggunaan perangkat lunak HOMER. Dari hasil simulasi yang dilakukan diperoleh rancangan sistem yang terdiri atas: 5 kWp PV, 3 kW *biobased diesel engine generator* berbahan bakar minyak kelapa, 5 kW *bi-directional inverter*, dan 16 buah baterai 100Ah/12V yang digunakan untuk menyuplai beban mesin pembuat es sebesar 4 kW.

Kata Kunci: perancangan, mikrogrid cerdas, pabrik es, nelayan, energi terbarukan

ABSTRAK

Indonesia is an archipelago with many small islands, which are in remote locations. Most of the inhabitants of these small islands earn a living as traditional fishermen. One of the obstacles faced by traditional fishermen is the availability of ice blocks as a fish cooling media. The availability of electricity is also a problem because it depends on the availability of diesel fuel as generator diesel power plant. This research aims to design a smart microgrid system based on renewable energy that is expected to function as an electricity supplier for local ice factories that can meet the needs of fishermen's ice on remote islands. This research takes place in Karimunjawa where is a small island which is majority of the population is work as a fisherman. The optimization of the design made is support by the use of HOMER software. From the simulation results obtained a system design consisting of: 5 kWp PV, 3 kW biobased diesel engine generator powered by coconut oil, 5 kW bi-directional inverter, and 16 pcs 100Ah / 12V batteries used to supply an ice machine load of 4 kW.

Keyword: design, smart microgrid, ice factory, fishermen, renewable energy

PENDAHULUAN

Indonesia merupakan negara kepulauan dengan jumlah sekitar 16.056 pulau. Dari jumlah tersebut sebagian besar merupakan pulau-pulau kecil yang berada di lokasi yang terpencil. Pada pulau-pulau kecil tersebut sekitar 90% mata pencaharian penduduk adalah nelayan tradisional [1]. Kendala utama yang dihadapi oleh para nelayan di pulau-pulau terpencil tersebut adalah

ketidak-tersediaan es sebagai media pendingin ikan hasil tangkapan mereka. Di beberapa pulau, nelayan harus menempuh jarak 80-100 km untuk memperoleh es dari kota di pulau besar terdekat. Bahkan di pulau-pulau yang lebih terpencil, nelayan sama sekali tidak memiliki akses terhadap es sama sekali [2]. Karena itu upaya-upaya perlu dilakukan untuk mendirikan pabrik es setempat, yang pada akhirnya memerlukan ketersediaan listrik sebagai energi penggerak [3].

*Corresponding author:

Email: harrysetyo@kemenperin.go.id

DOI: <http://dx.doi.org/10.37209/jtbbt.v9i2.103>

Di pulau-pulau terpencil, listrik umumnya diproduksi dengan PLTD (pembangkit listrik tenaga diesel) yang memerlukan bahan bakar solar. Padahal ketersediaan solar sangat rentan terhadap gangguan cuaca dan gelombang tinggi. Sehingga perlu teknologi pembangkit listrik berbasis energi terbarukan dengan sumber energi yang tersedia di daerah tersebut [4].

Penelitian ini ditujukan untuk mengkaji rancangan dua sistem penyediaan listrik dengan dukungan mikrogrid cerdas yang berbasis pada PLTS (pembangkit listrik tenaga surya) dan *biobased diesel engine generator* dengan bahan bakar minyak nabati lokal. Selanjutnya sistem penyediaan listrik tersebut dapat mendukung pengoperasian pabrik es setempat. Hasil penelitian ini dihaapkan untuk dapat menjadi acuan bagi pengembangan pabrik es lokal di daerah terpencil.

Novitasari, dkk (2016) membuat desain dan optimasi *smart grid* untuk sistem hibrida *PV-biobased diesel engine* dengan bahan bakar minyak nabati. Dari eksperimen yang dilakukan terbukti penggunaan bahan bakar nabati tidak berpengaruh terhadap kinerja sistem dan rata-rata efisiensi *inverter* mencapai 87% [5].

Singh dan Baredar (2016) merancang sistem hibrida yang terdiri atas *PV, fuel cell*, dan gasifikasi biomassa untuk menyuplai listrik di MANIT Bhopal, India. Penelitian ini menggunakan perangkat lunak simulasi HOMER dan memperoleh biaya energi sebesar Rs 15,064/kWh dan memungkinkan terpenuhinya kebutuhan beban listrik yang bervariasi selama setahun tanpa adanya gangguan [6].

Gandhi, dkk (2016) melakukan kajian terhadap sistem hibrida berbasis *PV* dan *diesel engine generator* menggunakan bantuan HOMER. Dari hasil simulasi diperoleh biaya energi sebesar Rp 4.610,- yang lebih rendah dibandingkan penggunaan *PV* saja yaitu sebesar Rp 5.532,-. Selain itu peningkatan harga solar berpengaruh secara signifikan terhadap peningkatan *Nett Present Cost (NPC)* sistem [7].

BAHAN DAN METODE

Perancangan sistem mikrogrid cerdas berbasis energi terbarukan untuk pabrik es nelayan yang terutama diimplementasikan di pulau-pulau terpencil dilakukan dengan beberapa tahapan sebagai berikut:

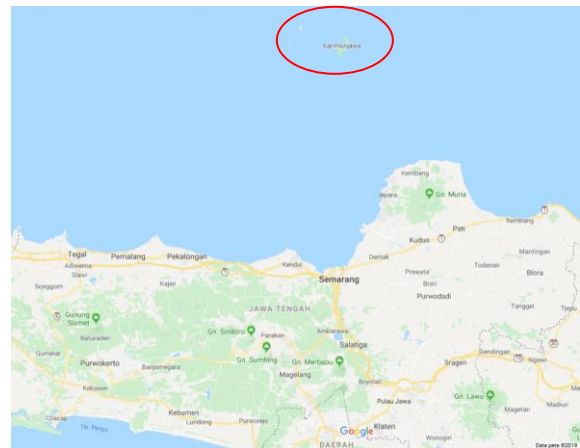
1. penentuan lokasi penelitian

2. perhitungan spesifikasi komponen-komponen sistem
3. optimasi sistem dengan perangkat lunak HOMER
4. kajian faktor-faktor lain untuk menentukan rancangan akhir sistem.

Penentuan Lokasi

Lokasi yang dipilih sebagai objek penelitian adalah Kepulauan Karimunjawa, di Kabupaten Jepara, Jawa Tengah. Kepulauan Karimunjawa terletak pada koordinat 5°49'9"LS dan 110°27'32"BT, sekitar 80 km di utara Jepara (Gambar 1).

Karimunjawa memiliki penduduk berjumlah 8.733 jiwa yang tersebar di empat desa yaitu: Karimunjawa, Kemojan, Parang, dan Nyamuk. Kebutuhan listrik di Karimunjawa dicukupi melalui PLTD dengan kapasitas 2,5 MW yang dikelola oleh PLN. Kebutuhan bahan bakar solar PLTD ini mencapai mencapai 4000 liter/hari dan ketersediaannya sangat bergantung pada kondisi cuaca dan gelombang laut [5].



Gambar 1. Letak Karimunjawa

Sekitar 90% penduduk Karimunjawa hidup dengan mata pencaharian sebagai nelayan tradisional [8]. Es balok sebagai media pendingin ikan hasil tangkapan harus dibeli dari Jepara, sehingga ketersediaannya juga sering terganggu oleh cuaca dan gelombang laut [5].

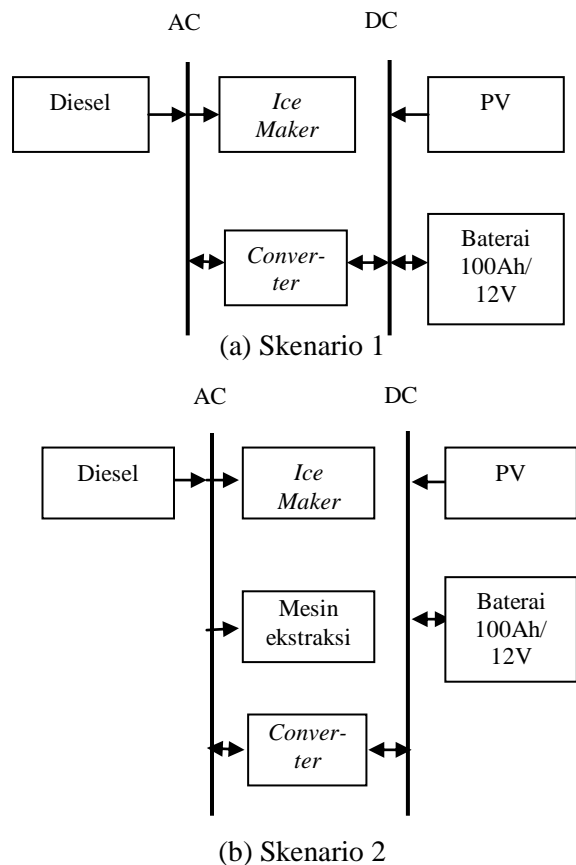
Penentuan Skenario Sistem Hibrida

Sistem mikrogrid cerdas yang akan dikembangkan untuk menyuplai listrik bagi pabrik es nelayan menggunakan sumber energi terbarukan yang tersedia di lokasi. Kepulauan Karimunjawa seperti daerah tropis lainnya mempunyai potensi energi surya. Selain itu juga

terdapat potensi dari minyak kelapa. Karena kelapa merupakan komoditas utama perkebunan di Karimunjawa [8].

Dua skenario sistem penyediaan listrik dikaji dalam penelitian ini, yaitu:

1. *PV-Diesel Generator* dengan bahan bakar solar.
2. *PV-Biobased Diesel Generator* dengan bahan bakar minyak kelapa.



Gambar 2. Dua Skenario Sistem Penyediaan Listrik

Perhitungan Spesifikasi Komponen Sistem

Rangkaian sistem penyediaan dan konsumsi listrik terdiri dari lima komponen yang diuraikan masing-masing pada pasal berikut ini.

1. Perhitungan Beban Listrik Mesin Pembuat Es
Perhitungan beban listrik yang dibutuhkan oleh mesin pembuat es dilakukan berdasarkan *Chapter 24: Refrigerated-Facility Load on 2014 ASHRAE Handbook-Refrigeration* [9]. Perhitungan dilakukan dengan mempertimbangkan beban transmisi, beban produk, beban internal, beban infiltrasi, beban terkait peralatan penunjang dan faktor keamanan sebesar 10%. Mesin pembuat es dirancang untuk kapasitas 250 kg per hari, dan dioperasikan selama 6 jam per hari. Daya listrik

yang diperlukan adalah 4 kW. Jadi kebutuhan energi listrik seluruh komponen ini adalah 24 kWh/hari.

2. Perhitungan Kapasitas Maksimum PV

Kapasitas PV dirancang dengan asumsi:

- a. *derating factor* pada PV sebesar 65%
- b. *peak sun hour* selama 4 jam per hari
- c. energi listrik maksimal yang disuplai oleh PV sebesar 50% atau 12 kWh/hari.

Daya keluaran PV adalah 3 kWp. Dengan pertimbangan *derating factor* 65%, maka daya terpasang PV adalah 4,61 kWp. Jadi kapasitas maksimum PV ditetapkan 5 kWp.

3. Perhitungan Kapasitas Maksimum Diesel Generator

Kapasitas Diesel Generator dirancang dengan asumsi:

- a. efisiensi generator 70%
- b. energi listrik maksimal yang disuplai oleh generator sebesar 50% atau 12 kWh/hari
- c. generator beroperasi selama 6 jam/hari.

Maka daya keluaran generator adalah 2kW. Dengan pertimbangan efisiensi 70%, maka daya terpasang generator sebesar 2,86 kW. Dari perhitungan tersebut, maka ditentukan kapasitas maksimum generator sebesar 3 kW.

4. Perhitungan Kapasitas Maksimum Inverter

Inverter dirancang dengan asumsi:

- a. beban maksimum (*peak load*) 4 kW
- b. semua sumber pembangkit listrik terhubung dengan inverter
- c. *safety operating factor* sebesar 25%.

Sehingga kapasitas maksimum inverter adalah 5 kW.

5. Perhitungan Tegangan Sistem dan Spesifikasi Baterai

Asumsi dalam perancangan tegangan dan spesifikasi baterai adalah berikut ini:

- a. spesifikasi baterai yang digunakan adalah 100Ah/12V
- b. maksimum energi yang disimpan adalah senilai 1 hari yaitu 24 kWh.

Tegangan sistem yang dianjurkan untuk sistem dengan kebutuhan daya tinggi adalah 48 V. Hal ini untuk mencegah baterai cepat panas dalam pengoperasian. Banyaknya baterai dalam satu rangkaian parallel untuk memenuhi tegangan 48 V adalah 4 unit. Banyaknya rangkaian untuk memenuhi 48 kWh adalah 5 unit.

Hasil-hasil perancangan diatas digunakan sebagai nilai masukan (*input*) dalam simulasi HOMER. Data teknis dan beberapa data dasar kajian ekonomi yitu perkiraan investasi (biaya

pembelian alat), biaya operasional dan perawatan disajikan pada Tabel 1.

Tabel 1. Nilai Masukan HOMER untuk Masing-masing Komponen

Komponen	Masukan	Nilai	Satuan
PV	Biaya modal (1 kW)	1.200	US\$
	Biaya penggantian (1 kW)	1.200	US\$
	Biaya operasional & perawatan (1 kW)	0	US\$/tahun
	Umur komponen	20	tahun
	<i>Derating factor</i>	65	%
Diesel Generator	Biaya modal (1 kW)	500	US\$
	Biaya penggantian (1 kW)	500	US\$
	Biaya operasional & perawatan (1 kW)	0,05	US\$/jam
	Umur komponen	15.000	jam
	Rasio beban minimum	25%	
	Bahan bakar	Solar	
	Harga bahan bakar	0,715	US\$/liter
Bio-based Diesel Generator	Biaya modal (1 kW)	1.000	US\$
	Biaya penggantian (1 kW)	1.000	US\$
	Biaya operasional & perawatan (1 kW)	0,10	US\$/jam
	Umur komponen	15.000	jam
	Rasio beban minimum	25	%
	Bahan bakar	Minyak kelapa	
	Harga bahan bakar	2,256	US\$/liter
Baterai (12V-100Ah)	Biaya modal (1 kW)	215	US\$
	Biaya penggantian (1 kW)	215	US\$
	Biaya operasional & perawatan (1 kW)	10	US\$/tahun
	Umur komponen	15	tahun
	Kapasitas awal	50	%
	Kapasitas minimum	50	%
	Jumlah string	4	buah
Inverter	Biaya modal (1 kW)	1.150	US\$
	Biaya penggantian (1 kW)	1.150	US\$
	Biaya operasional & perawatan (1 kW)	0	US\$/tahun
	Umur komponen	15	tahun
	Efisiensi inverter	80	%
	Kapasitas relatif	100	%
	Efisiensi rektifier	80	%
	Paralel dengan generator AC	Ya	

Catatan:

1. Biaya untuk *bio-based diesel generator* sudah memperhitungkan penggunaan *pre-heater* dan mesin ekstraksi minyak kelapa.
2. Harga solar dan minyak kelapa berdasarkan harga jual di Karimunjawa.

HASIL DAN PEMBAHASAN

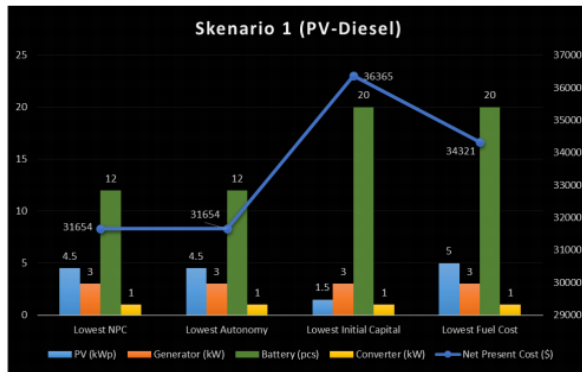
Hasil Simulasi HOMER Skenario 1 (PV-Diesel Generator)

Hasil simulasi skenario 1 disajikan pada Gambar 3. Nilai optimum (*lowest NPC*) Skenario 1 terjadi pada konfigurasi: PV 5 kWp, Diesel Generator 3 kW, Inverter 1 kW, dan Baterai

sebanyak 12 buah. Karakteristik penting skenario 1 adalah:

- a. nilai *NPC* US\$ 31.654.
- b. nilai jam otonomi terendah (*lowest autonomy*) yaitu sebesar 7,2 jam
- c. pada biaya modal awal terendah (*lowest initial capital*) memerlukan PV 1,5 kWp
- d. pada biaya bahan bakar terendah (*lowest fuel cost*) memerlukan PV 5 kWp.

Hal ini menunjukkan bahwa penggunaan PV membutuhkan modal awal yang besar, tetapi mampu menurunkan biaya bahan bakar.



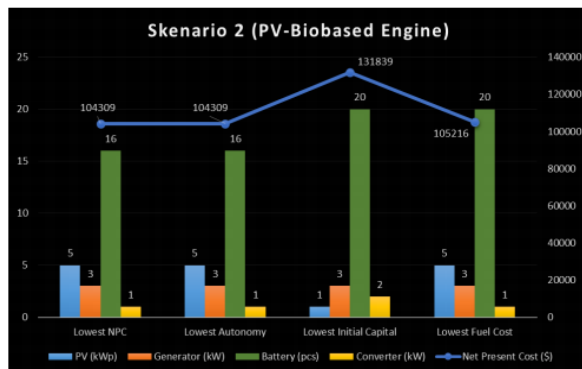
Gambar 3. Hasil simulasi HOMER skenario 1 (PV-Diesel Generator)

Hasil Simulasi HOMER Skenario 2 (PV-Biobased Diesel Generator)

Pada skenario 2 nilai optimum (*lowest NPC*) diperoleh pada konfigurasi: PV 5 kWp, Biobased Diesel Generator 3 kW, Inverter 1 kW dan 16 buah Baterai (Gambar 4), dengan karakteristik operasional:

- nilai NPC sebesar US\$ 104.309
- jam otonomi terendah (*lowest autonomy*) 8,5 jam
- pada kondisi *lowest initial capital* dan kondisi *lowest fuel cost* menunjukkan peningkatan jumlah baterai yang diperlukan.

Hal ini mengindikasikan bahwa kedua konfigurasi sistem membutuhkan peningkatan sistem penyimpanan energi. Dan pada sistem *lowest initial capital* juga diperlukan inverter sebesar 2 kW.



Gambar 4. Hasil Simulasi HOMER Skenario 2 (PV-Biobased Diesel Generator)

Pemilihan Skenario Sistem

Berdasarkan uraian hasil-hasil di atas, terungkap bahwa NPC terendah diperoleh melalui hibrida PV-Diesel Generator (skenario 1). Tetapi skenario ini memiliki kelemahan yaitu: (a) penggunaan bahan bakar solar yang tidak ramah lingkungan; (b) kendala ketersediaan solar di Karimunjawa.

Skenario 2 PV-Biobased Diesel Generator memiliki potensi lebih tinggi untuk diimplementasikan. Pada pemakaiannya dalam motor diesel, bahan bakar nabati (*biofuel*) tidak berbeda jauh dengan solar. Sehingga secara teknik, penerapan skenario 2 mudah diadaptasi oleh masyarakat. Nilai NPC yang tinggi pada skenario ini disebabkan disebabkan harga acuan minyak kelapa yang lebih tinggi daripada solar. Padahal sebenarnya murahnya harga solar karena masih disubsidi oleh pemerintah.

Jadi, sistem *smart micro grid* berbasis energi terbarukan dalam penelitian ini diusulkan untuk menggunakan sistem hibrida PV-Biobased Diesel Generator dengan bahan bakar minyak kelapa.

Penentuan Konfigurasi Komponen Sistem

Beberapa pertimbangan lanjut perlu diperhatikan untuk menyempurnakan rangkaian sistem dengan skenario 2, khususnya terkait dengan karakteristik Inverter.

- HOMER menggunakan sistem paralel penuh, dimana AC generator langsung terhubung dengan beban. Dan hanya kelebihan listrik dari generator sajalah yang melalui inverter untuk digunakan untuk mengisi baterai. Sistem ini sebenarnya cukup baik, karena lebih efisien daripada sistem seri, dimana AC generator dihubungkan ke inverter terlebih dahulu untuk mengisi baterai, baru kemudian baterai melalui inverter lagi sebelum diteruskan ke beban.
- Tetapi sistem paralel penuh tersebut masih mengandung kelemahan. Dari berbagai penelitian, salah satunya Tapia-Hernandez, dkk (2017) menyimpulkan bahwa pada sistem hibrida berbasis DC dan AC terdapat kendala pada sinkronisasi frekuensi antara arus AC yang dihasilkan oleh generator dengan arus AC yang dihasilkan oleh inverter [10].

3. Bohm, dkk (2017) merancang suatu inverter yang tidak hanya bertindak sebagai pengubah arus listrik dari DC ke AC atau sebaliknya, tapi juga berperan dalam 3 hal penting yaitu menjaga stabilitas tegangan, kontinuitas *power supply*, dan sinkronisasi *waveform* [11].
4. Chennai dan Benchouia (2014) merancang suatu *Unified Power Quality Conditioner (UPQC)* yang berfungsi untuk menjaga kualitas daya keluaran sistem yang dihubungkan ke beban. UPQC ini berfungsi untuk mengatasi harmonisasi pada sumber arus dan gangguan pada tegangan [12].
5. Novitasari, dkk (2016) juga merancang *prototype* sistem hibrida PV-biobased engine dengan menggunakan Bidirectional Inverter tipe Conext XW+7048 buatan Schneider [5]. Dari buku *design guide* untuk inverter tersebut dapat diketahui bahwa inverter itu tidak hanya berfungsi sebagai konverter arus listrik, tapi sekaligus pengatur/kontrol semua sumber listrik yang digunakan. Oleh karena itu semua sumber listrik harus dihubungkan ke inverter ini sebelum menuju ke beban. Inverter ini mampu mengatur agar arus AC dari generator dapat langsung diteruskan ke beban tanpa terlebih dahulu dikonversi menjadi DC. Keuntungan dari sistem ini adalah arus AC yang dihasilkan lebih seragam dan sinkron, baik yang berasal dari generator maupun dari PV atau baterai [13].

Berdasarkan pertimbangan-pertimbangan diatas, maka diputuskan bahwa seluruh sumber listrik dihubungkan dengan *bi-directional inverter* yang memiliki kemampuan untuk melakukan fungsi kontrol terhadap sumber listrik baik PV, generator maupun yang dari baterai.

Dengan beban puncak sebesar 4 kW dan faktor keamanan operasi sebesar 25%, maka kapasitas inverter yang akan digunakan adalah sebesar 5 kW (1,25 x 4 kW).

Rancangan Sistem Mikrogrid Cerdas Berbasis Energi Terbarukan

Berdasarkan skenario dan konfigurasi yang telah ditentukan diatas, maka skema sistem mikrogrid cerdas berbasis energi terbarukan yang diusulkan adalah sebagai berikut:



Gambar 5. Skema Rancangan Sistem Mikrogrid Cerdas Berbasis Energi Terbarukan

KESIMPULAN DAN SARAN

Kesimpulan

Sistem mikrogrid cerdas berbasis energi terbarukan dengan sumber energi lokal sangat diperlukan untuk menjamin keberlangsungan penyediaan energi listrik bagi mesin pembuat es untuk nelayan. Dari simulasi dengan perangkat lunak HOMER diperoleh hasil bahwa nilai optimum sistem hibrida *PV-Biobased Diesel Generator* diperoleh usulan konfigurasi: PV 5 kWp, *Biobased diesel generator* 3 kW, Inverter 1 kW dan Baterai sejumlah 16 buah. Nilai *NPC* sistem ini sebesar US\$ 104.309. Sistem hibrida *PV-Biobased Diesel Generator* dipilih dengan pertimbangan kemudahan implementasi dan potensi keberlanjutannya.

Penggunaan inverter 5 kW dalam rancangan sistem skenario 2 di atas ditujukan untuk menghubungkan semua sumber listrik ke inverter sebelum menuju ke beban. Inverter tersebut tidak hanya berfungsi sebagai konverter arus listrik, tapi juga sebagai pengatur sumber arus listrik dan sinkronisasi frekuensi, tegangan dan arus listrik yang dihasilkan sebelum menuju beban. Jadi pada akhirnya konfigurasi rancangan sistem *smart micro grid* berbasis energi terbarukan adalah sebagai berikut: PV 5 kWp, *Biobased Diesel Generator* 3 kW, *Bi-directional Inverter* 5 kW, dan Baterai 100Ah/12V sebanyak 16 buah. Tegangan sistem pada baterai dipilih 48V, sehingga ada empat buah baterai paralel dalam rangkaian, dan perlu empat rangkaian paralel ini secara keseluruhan.

Saran

Selanjutnya, purwarupa rangkaian sistem yang sudah dirancang dalam penelitian ini perlu dibuat dan kemudian dilakukan pengujian kinerja agar diketahui kelayakan dan keandalan sistem yang sudah dirancang. Dari hasil pengujian kinerja tersebut dapat diperoleh keandalan sistem dan dapat dijadikan contoh untuk penerapan di pulau-pulau terpencil yang lain.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penelitian ini dibiayai dengan Penelitian *Unggulan Strategis Nasional* dari Kementerian Riset, Teknologi, dan Pendidikan Tinggi. Penulis menyampaikan terima kasih kepada Kepala Balai Besar Bahan dan Barang Teknik, Dr. Eng. Yuli Setyo Indartono, dan semua pihak yang telah membantu penulisan karya ilmiah ini.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] BPS, *Statistik Indonesia 2019*, Juni 2019. Jakarta, Indonesia: BPS Republik Indonesia, 2019.
- [2] V. Mawuntu, "Profil Perikanan Tangkap dan Strategi Pengelolaan Sumberdaya Perikanan Tangkap di Karimunjawa", Skripsi Sarjana, Fakultas Ekonomi dan Bisnis, Universitas Diponegoro, Semarang, 2015.
- [3] D. Novitasari, "Perancangan dan Optimasi Sistem Smart Grid Berbasis Energi Terbarukan di Pulau Nyamuk, Kecamatan Karimunjawa, Jawa Tengah", *Tesis Magister, Fakultas Teknik Mesin dan Dirgantara*, Institut Teknologi Bandung, Bandung, 2016.
- [4] B. Raharjo, 2018, "Gelombang Tinggi Hambat Kapal BBM untuk Karimunjawa", [Online], Available: <https://www.republika.co.id/berita/ekonomi/korporasi/18/01/30/p3clmk415-gelombang-tinggi-hambat-kapal-bbm-untuk-karimunjawa>, diakses 23 Maret 2018.
- [5] D. Novitasari, Y.S. Indartono, J.E. Harjono, M. Irsyad, T.D. Rachmilda, dan I.K. Reksowardojo, "Study of Micro Grid Hybrid System of Photovoltaic and Diesel Engine", *Proceedings of MATEC Web Conference (ICMIT 2016)*, 70, 03001, 2016.
- [6] A. Singh dan P. Baredar, "Techno-economic Assessment of a Solar PV, Fuel Cell, and Biomass Gasifier Hybrid Energy System", *Energy Reports*, vol. 2, pp. 254-260, 2016.
- [7] J.J. Gandhi, O. Penangsang, Suyanto, A. Soeprijanto, dan N.K. Aryani, "Life-Cycle Cost Analysis of Laboratory Scale Microgrid Operation in Power System Simulation Laboratory using HOMER Simulation", *Proceedings of 2016 International Seminar on Intelligent Technology and Its Application*, pp. 561-564, 2016.
- [8] BPS Kab. Jepara, *Kecamatan Karimunjawa dalam Angka 2018*, September 2018. Jepara, Indonesia: BPS Kabupaten Jepara, 2018.
- [9] *Handbook-Refrigeration (SI Edition)*, Juni, Atlanta, US: ASHRAE, Juni, 2014.
- [10] A. Tapia-Hernandez, M. Ponce-Silva, dan V.H. Olivares-Peregrino, "Techniques Used to Synchronize Multi-phase AC-DC Converters for Energy Harvesting Applications, a Review", *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, vol. 69, pp. 123-128, 2017.
- [11] R. Bohm, C. Rehtanz, dan J. Frankl, "Inverter-based Hybrid Compensation Systems Contributing to Grid Stabilization in Medium Voltage Distribution Networks with Decentralized, Renewable Generation", *Electrical Engineering*, vol. 98, no. 4, pp. 355-362, 2016.
- [12] S. Chennai dan M.T. Benchouia, "Unified Power Quality Conditioner Based on a Three Level NPC Inverter Using Fuzzy Control Techniques for all Voltage Disturbances Compensation", *Frontiers in Energy*, vol. 8, no. 2, pp. 221-239, 2014.
- [13] Schneider, *Conext XW+ Multi Unit Power Systems: Design Guide*. China: Schneider Electric, 2014.

