

Analisis Performansi Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) untuk Elektrifikasi Di Pulau Sebira, Kabupaten Kepulauan Seribu, Propinsi DKI Jakarta

Suwarto^{1✉}, Leonard Lisapaly², Togar Pangaribuan³

¹ Magister Teknik Elektro, Program Pascasarjana, Universitas Kristen Indonesia, Indonesia

^{2,3} Magister Teknik Elektro, Program Pascasarjana, Universitas Kristen Indonesia, Indonesia

Informasi Artikel

Riwayat Artikel

Diserahkan : 30-04-2024

Direvisi : 08-05-2024

Diterima : 10-05-2024

Kata Kunci:

Elektrifikasi, Integrasi sistem, Performance Ratio, PLTD, PLTS

Keywords :

Electrification, system integration, performance ratio, PLTD, PLTS

Corresponding Author :

Suwarto

Magister Teknik Elektro, Program Pascasarjana, Universitas Kristen Indonesia, Indonesia

Jl. Diponegoro 84-86, Jakarta 10430

Email: war.ikad3@gmail.com

ABSTRAK

Pulau Sebira merupakan salah satu pulau terluar di Kabupaten Administratif Kepulauan Seribu, Kecamatan Kepulauan Seribu Utara, Kelurahan Pulau Harapan dengan luas 8,83 Ha dan dihuni penduduk ± 662 jiwa dari 180 KK. Jarak Pulau dari Daratan Jakarta Sebira ± 119 km dan terpencil dari gugusan Kepulauan Seribu sehingga belum ada pasokan sumber listrik dari PLN. Eletrifikasi Pulau Sebira pada malam hari bersumber dari Pembangkit Listrik Tenaga Diesel (PLTD) dan pada siang hari dari Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS). Integrasi antara kedua Pembangkit listrik masih secara manual dan dibawah kendali institusi yang berbeda. Pada penelitian ini dilakukan analisis performansi PLTS untuk elektrifikasi Pulau Sebira dengan cara membandingkan Performance Ratio (PR) secara riil dengan hasil simulasi menggunakan software PVsyst Versi 7.2.4. Diperoleh PR riil lebih kecil dari PR hasil simulasi.

ABSTRACT

Sebira Island is one of the outermost islands in the Thousand Islands Administrative Regency, North Thousand Islands District, Harapan Island Village with an area of 8.83 Ha and is inhabited by a population of ± 662 people from 180 families. The distance of the island from Mainland Jakarta Sebira is ± 119 km and is remote from the Thousand Islands group so there is no electricity supply from PLN. The electrification of Sebira Island at night comes from the Diesel Power Plant (PLTD) and during the day from the Solar Power Plant (PLTS). Integration between the two power plants is still manual and under the control of different institutions. In this research, an analysis of the performance of PLTS for electrification of Sebira Island was carried out by comparing the real Performance Ratio (PR) with simulation results using PVsyst Version 7.2.4 software. The real PR obtained is smaller than the PR from the simulation results.

PENDAHULUAN

Pulau Sebira merupakan salah satu pulau terluar kabupaten administratif Kepulauan Seribu yang berada dibawah kecamatan Kepulauan seribu utara, kelurahan Pulau Harapan dengan luas 8,83 Ha dan dihuni penduduk \pm 662 jiwa dari 180 KK. Jarak pulau Sebira dari Daratan Jakarta \pm 119 km dan terpencil dari gugusan Kepulauan seribu sehingga belum ada pasokan sumber listrik dari PLN. Transportasi umum keluar masuk Pulau ini hanya bisa ditempuh dengan Kapal Cepat Dinas Perhubungan dengan route Pelabuhan Kali Adem - Pulau Pramuka - Pulau Sebira dan sebaliknya dengan waktu tempuh selama 3 s.d 5 jam. Alternatif lain transportasi dapat menggunakan Kapal Nelayan tetapi perjalanannya tidak terjadwal dan membutuhkan waktu tempuh lebih lama antara 8 s.d. 10 jam[7].

Pada awalnya pulau Sebira tidak berpenghuni dan hanya terdapat Bangunan Mercusuar yang dibangun sejak zaman kolonial Belanda pada tahun 1869. Karena letaknya berada di paling utara Kepulauan Seribu, pulau ini dinamakan dengan nama dalam bahasa Belanda Nochtwachter atau dalam bahasa Indonesianya Penjaga Utara. Informasi dari Ibu Hartuti salah satu warga cikal bakal penghuni pulau Sebira menjelaskan bahwa sejak tahun 1974 Warga pulau Genteng Besar datang ke Pulau Sebira untuk menangkap Ikan. Pada tahun 1975 warga pulau Genteng Besar didesak pemerintah untuk meninggalkan pulau dan diberikan ganti rugi untuk pindah ke Pulau Pamagaran. Namun warga menolak karena berpendapat di Pulau tersebut tidak ada potensi besar untuk kehidupan ke depan dan tidak ada ikan sehingga warga memilih perlahan lahan pindah ke Pulau Sebira dan Pulau Kelapa Dua. Pada awalnya yang pindah ke Pulau Sebira hanya berjumlah 22 Jiwa.

Elektrifikasi Pulau Sebira semula bersumber dari Pembangkit Listrik Tenaga Diesel (PLTD) dibawah naungan Suku Dinas Perindustrian. Pada tanggal 25 November 2020 Pemerintah DKI Jakarta Bersama PLN Unit Induk Distribusi Jakarta Raya meresmikan Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS). General Manager PLN UID Jaya Doddy B. Pangararibuan menyampaikan PLTS dapat menjadi daya cadangan untuk PLTD yang sudah ada dan menghemat pengeluaran biaya bahan bakar[5][9].

PLTS Pulau Sebira dibangun di atas lahan seluas 5.000 m². dengan kapasitas daya 400 kWP. PLTS ini dilengkapi dengan baterai untuk penyimpanan energi dengan kapasitas 912 kWh agar tetap dapat mengalirkan listrik pada malam hari. Proyeksi energi yang dapat dibangkitkan sebesar 1.200 kWh per hari diharapkan dapat memenuhi kebutuhan energi listrik di Pulau Sebira selama 24 Jam per hari. PLTS bisa dihubungkan secara hybrid dengan PLTD yang ada sehingga bisa menjadi cadangan jika daya pembangkitan tidak mencukupi.

PLTS di Pulau sebira sebelumnya pernah dibangun pada tahun 2007 oleh kementerian ESDM dengan kapasitas sebesar 15 kWP dan pada tahun 2012/ 2013 Dinas Perindustrian dan Energi Propinsi DKI Jakarta juga membangun PLTS dengan kapasitas sebesar 50 kWP dan 15 kWP. Pada saat Penulis melaksanakan penelitian PLTS dimaksud sudah tidak berfungsi atau tidak difungsikan. PLTS 50 kWP dan 15 kWP pada Rumah baterai dan Inverternya tampak pernah terjadi kebakaran dan PLTS 15 kWP dari kementerian ESDM menurut informasi juga terjadi kerusakan pada Inverternya.

Kondisi PLTS dimaksud pada saat ini Panel Surya masih terpasang tetapi sudah diliputi *shading* dari pepohonan di sekitarnya. Peta Pulau Sebira dan lokasi PLTS yang ada di Pulau Sebira diperlihatkan pada Gambar 1.



Gambar 1. Peta Pulau Sebra dan lokasi PLTS [8].

METODE PENELITIAN

Metode Penelitian dilaksanakan dengan menggunakan metode kualitatif. Penelitian dilaksanakan dengan cara pengumpulan data melalui peninjauan dan observasi secara langsung ke PLTS Pulau Sebra dan verifikasi melalui wawancara dengan Personel Pelayan Teknis, penduduk Pulau Sebra dan Pihak pihak yang mengetahui tentang elektrifikasi Pulau Sebra. Guna mendukung analisis dilakukan simulasi menggunakan software PVsyst Versi 7.2.4 untuk membandingkan hasil simulasi dengan data riil yang didapatkan di Lapangan untuk mengukur performansi PLTS Pulau Sebra. Langkah-langkah penelitian mencakup: kajian pustaka, peninjauan lapangan, analisis data, simulasi software, analisis masalah, dan optimalisasi solusi.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Pulau Sebra memiliki luas 8,83 Ha dan dihuni penduduk \pm 600 jiwa dari 180 KK. Elektrifikasi Pulau Sebra selama 24 Jam dibawah naungan Suku Dinas Perindustrian bersumber dari Pembangkit Listrik Tenaga Diesel (PLTD) dengan Komsumsi Daya Maksimum 74 kW . Setelah diluncurkannya Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) pada tanggal 25 November 2020 oleh Pemerintah DKI Jakarta Bersama PLN Unit Induk Distribusi Jakarta Raya pada siang elektrifikasi bersumber dari PLTS [3]. Integrasi jaringan distribusi masih bersifat instalasi sementara dan masih secara manual.

PLTS dibagi menjadi dua Sistem dalam operasionalnya, yaitu Sistem 1 untuk melayani pelanggan selama 12 Jam dari Pukul 07.00 s.d. Pukul 19.00 WIB dan Sistem 2 mensuplai daya selama 24 Jam ke Instalasi Pengolahan Air Limbah (IPAL). Pada pukul 19.00 s.d. 07.00 WIB pelayanan ke Pelanggan di suplai dari PLTD.

Beban harian Pulau Sebra diambil sampel pada tanggal 29 Maret 2019 oleh TML Energi [11] dan beban maksimum terjadi pada Pukul 21.00 WIB sebesar 71 kW dengan grafik beban seperti pada Gambar 3. Beban minimum sebesar 38 kW terjadi pada pukul 13.00 s.d. 14.00 WIB. Kebutuhan energi harian di Pulau Sebra sebesar 1116 kWh dengan rincian pukul 00.00 s.d 06.00 WIB 287 kWh, pukul 06.00 s.d. 12.00 WIB 259 kWh, pukul 12.00 s.d. 18.00 WIB 246 kWh, dan pukul 18.00 s.d. 00.00 WIB 324 kWh.

Hasil penelitian beban harian di Pulau Sebra selama 1x24 Jam sebesar 1240,32 kWh [9]. Hasil tersebut merupakan hasil survei lapangan melalui pendataan dengan cara pendekatan dengan penduduk, observasi dan wawancara. Hasil pendataan dilaksanakan tabulasi dan dilakukan analisis untuk mendapatkan Data beban harian.

Data beban riil yang dihasil dilapangan hasil pengamatan dari tanggal 10 s.d. 14 Maret 2021 pada malam hari dari pukul 19.00 s.d. 07.00 WIB, suplai Daya listrik ke Konsumen dari PLTD kecuali IPAL tetap menggunakan PLTS. Monitoring beban PLTD masih secara manual dengan cara mengamati pada Display distribusi. Pengamatan data beban selama 5 Jam pada tanggal 12 Maret 2021 beban puncak terjadi sekitar antara pukul 20.00 s.d. kurang dari pukul 22.00 WIB berkisar ± 74 kW dan pada waktu yang lain rata-rata beban pada ± 53 kW.

Pada siang hari dari pukul 07.00 s.d. 19.00 WIB, suplai daya listrik ke Konsumen menggunakan PLTS. Pada Sistem 1 beban pada malam hari s.d. Pukul 07.00 yang pada saat kebutuhan konsumen disuplai dari PLTD, konsumsi daya beban hanya $\pm 2,8$ kWh kemudian terjadi kenaikan pada pukul 07.00 s.d. 19.00 WIB setelah suplai daya beban beralih ke PLTS. Fluktuasi daya beban Sistem 1 antara pukul 07.00 s.d. 17.00 pada ± 45 s.d. 55 kWh dan mulai naik mencapai > 60 kWh pada pukul 18.00 WIB. Sedang daya beban pada Sistem 2 relatif konstan dari ± 10 s.d. 12 kWh dengan data beban pada tanggal 10 s.d. 14 Maret 2021 dapat ditinjau pada Tabel 2 dan Gambar 4.

Pada grafik beban harian tanggal 10 s.d. 14 Maret 2021 yang dapat dilihat pada Gambar 4, tampak pembebanan terjadi pada pukul 07.00 karena pada Jam tersebut terjadi peralihan suplai Beban dari PLTD ke PLTS. Sedangkan pada Gambar 5. tampak pembebanan relatif konstan pada setiap waktu antara ± 10 s.d. 12 kWh. Hal ini disebabkan karena Sistem 2 hanya menyuplai IPAL sebagai beban. Grafik beban pada tanggal 12 Maret 2021 tampak tidak terjadi pembebanan dari Pukul 00.00 s.d. 06.00 WIB dimungkinkan IPAL tidak beroperasi atau sedang dilakukan pemeliharaan dan perbaikan sehingga tidak terjadi konsumsi Daya.

Elektrifikasi Pulau sebira didukung dari dua sumber Pembangkit Tenaga listrik yaitu Pembangkit Listrik Tenaga Diesel dan Pembangkit Listrik Tenaga Surya sebagai berikut :

PLTD

PLTD Pulau Sebira memiliki 3 (tiga) Unit Genset dengan kapasitas 250 kVA sebanyak 1 (satu) Unit dan 125 kVA sebanyak 2 (dua) Unit. Setiap hari beroperasi selama 12 Jam sebanyak 1 (satu) Unit Genset yang berkapasitas 125 kVA secara bergantian pada hari berikutnya. Sedangkan Genset dengan kapasitas 250 kVA hanya dioperasikan pada kondisi tertentu yang memerlukan suplai daya lebih. Konsumsi bahan bakar minyak $\pm 17,5$ liter/ Jam atau setiap harinya memerlukan BBM 210 liter untuk beroperasi selama 12 Jam/ hari.

Genset menyuplai listrik 3 fasa dibagi melalui panel distribusi (Panel LV) menjadi 3 feeder (A, B,C). Seluruh jaringan merupakan tegangan rendah (JTR) 230/400 V dengan jumlah sambungan rumah (SR) masing-masing feeder adalah Feeder A sebanyak 57 SR, Feeder B sebanyak 38 SR dan Feeder C sebanyak 13 SR dengan konfigurasi jaringan sebagaimana pada Gambar 7.

Sistem monitoring PLTD masih secara manual dengan cara mengamati pada Display distribusi dan tidak tersedia data log Sistem.

PLTS

Komponen dan Konfigurasi Sistem

PLTS Pulau Sebira memiliki Kapasitas 400 kWp of grid terpasang pada koordinat $5^{\circ}12'6.6''$ LS $106^{\circ}27'47.1''$ BT / 5.201833° LS 106.463083° BT dan Modul PV dipasang menggunakan Mixed orientation dengan tilt 15° dan azimuth -105° dan tilt 15° dan azimuth 75° sebagaimana Gambar 8 dengan Komponen Sistem sebagai berikut :

- a) PV Module 330 WP Merk Sky, sebanyak 1214 Unit dengan total Kapasitas 400,62 kWP;
- b) PV Inverter 50 kW Merk SMA type STP Core 1, sebanyak 8 Unit dengan total kapasitas 400 kW;
- c) Battery Inverter 8 kW Merk SMA type SI 8.0 H, sebanyak 42 Unit dengan total kapasitas 336 kW;

- d) Battery Inverter 6 kW Merk SMA type SI 6.0 H, sebanyak 12 Unit dengan total kapasitas 72 KW;
- e) Baterai OPzV 2 Volt 1000 Ah Merk Nipress, sebanyak 456 Unit dengan kapasitas total 912 kWh;
- f) Air Contioner 1 PK, sebanyak 2 Unit (1 Unit untuk pendingin ruang baterai dan 1 Unit untuk ruang Inverter).

Manajemen Energi

Manajemen energi yang dibangkitkan Sistem PLTS dimaksud secara operasional dibagi menjadi 2 Sistem dinamakan Sistem 1 dan Sistem 2 Kapasitas Sistem 1 sebesar 211,2 kWp dan Sitem 2 sebesar 189,4 kWp. Sistem 1 digunakan untuk melayani Konsumen dari pukul 07.00 s.d 19.00 WIB dan konsumsi sendiri sedangkan Sistem 2 untuk melayani IPAL selama 1x24 Jam dengan diagram blok Sistem seperti Gambar 9.

Operasionalisasi Sistem

Sistem 1 memiliki kapasitas 211,2 kWp tersusun dari 640 unit PV kapasitas 330 WP masuk ke 4 unit String Combiner Box kemudian masuk ke 4 unit Solar/ Grid Inverter 50 kW untuk diubah dari listrik DC ke AC selanjut dimasukkan ke 1 unit AC Combiner 3 fasa 200 kW dan keluarannya dimasukkan ke Multicluster Box. Pada Multicluster Box, Daya yang dihasilkan dimasukkan ke Main Distribution Panel untuk melayani pelanggan dan Lampu penerangan area PLTS serta selisih konsumsi Daya secara langsung digunakan untuk mengisi Baterai sebagai cadangan pada saat pembangkitan PLTS tidak mencukupi untuk penyediaan Daya.

Pada Sistem 1 disediakan baterai penyimpanan sebanyak 240 Unit baterai OPzV 2 Volt 1000 Ah atau sebesar 480 kWh. Pengisian baterai terjadi pada saat terjadi selisih daya hasil pembangkitan PLTS yang dikonsumsi langsung masuk ke Bidirectional battery inverter untuk mengisi baterai dan apabila baterai penuh Inverter akan secara otomatis mereduksi produksi listrik dari PV. Pada saat terjadi kekurangan Daya Bidirectional battery inverter akan mengubah listrik DC ke listrik AC untuk kebutuhan daya jaringan.

Pada Sistem 2 secara operasional sama dengan Sistem 2 memiliki kapasitas berbeda yaitu sebesar 189,4 kWp tersusun dari 574 unit PV kapasitas 330 WP, 4 unit String Combiner Box, 4 unit Solar/ Grid Inverter 50 kW, 1 unit AC Combiner 3 fasa 200 kW dan Multicluster Box serta baterai penyimpanan sebanyak 216 Unit baterai OPzV 2 Volt 1000 Ah atau sebesar 432 kWh. Sistem 2 digunakan untuk melayani kebutuhan Daya Instalasi Pengolahan Air Limbah (IPAL).

Daya dan Energi Pembangkitan

Pembangkitan PLTS masing masing Sistem berdasarkan pengolahan Data log harian pada bulan Januari dan Februari 2021 dihasilkan pada bulan Januari Sistem 1 sebesar 17.343,57 kWh dan Sistem 2 sebesar 6.173,14 kWh. Pembangkitan bulan Februari Sistem 1 sebesar 16.558,18 kWh dan Sistem 2 sebesar 6.913,19 kWh sebagaimana dapat ditunjukkan pada Tabel 3 yang merupakan hasil pengolahan Datalog Sistem PLTS harian menggunakan Pivot Table pada Microsoft Excel.

Dalam rangka melihat pembangkitan harian rata rata per Jam PLTS Pulau Sebir, Tabel 3.3. diolah dengan melaksanakan pembagian dengan jumlah hari pada pembangkitan tiap tiap Jam dalam bulan berjalan, yaitu untuk pada bulan Januari dibagi 31 dan pada bulan Februari dibagi 28 sehingga menjadi Tabel 4 dan secara grafik dapat dilihat pada Gambar 11 berikut ini.

Untuk melihat Daya dan Energi secara langsung dilapangan dilaksanakan pengamatan selama lima hari dari tanggal 10 s.d. 14 Maret 2021. Pada masa itu cuaca relatif tidak stabil, cenderung berawan, dan terjadi hujan pada waktu yang acak. Hasil pengolahan data log energy balance system 1 perhari dapat ditabulasikan secara teratur. Perbedaan yang signifikan antara data log energy balance system 1 dengan data log energy balance system 2 terletak pada total

generation (pembangkitan total) karena pengaruh keseimbangan pembebanan antara system 1 dengan system 2.

Visualisasi perbandingan pembangkitan PLTS Pulau Sebira sistem 1 dan sistem2 berdasarkan Power dan energi PV dapat dilihat pada Gambar

Simulasi PLTS Pulau Sebira[5][7][10]

Simulasi PLTS Pulau Sebira menggunakan Software Pvsyst Versi 7.2.4. Komponen PLTS dalam Simulasi menggunakan komponen yang digunakan pada PLTS Pulau Sebira kecuali Modul PV karena dalam database Pvsyst tidak terdapat Merk Jsky ST72M330 yang diproduksi oleh Sky Energy Indonesia, maka digunakan Modul PV Merk Einnovo Solarline Black ESM 330W 72 cells yang memiliki spesifikasi teknis mendekati dengan Modul PV Merk Jsky ST72M330.

Simulasi dilaksanakan dengan beberapa model untuk melihat performansi PLTS Pulau Sebira. Simulasi I dilakukan dengan skenario konfigurasi PLTS Pulau sebira 400,62 kWP dengan manajemen energi Sistem 1 sebesar 211,2 kWP dan Sistem 2 sebesar 189,4 kWP dengan pemasangan Modul PV menggunakan Mixed orientation dengan tilt 15o dan azimuth -105o dan tilt 15o dan azimuth 75o. Simulasi II dengan asumsi konfigurasi PLTS Pulau Sebira 400,62 kWP dengan manajemen energi menjadi satu Sistem dengan pemasangan modul PV sama dengan pada simulasi I. Simulasi III dengan asumsi konfigurasi PLTS Pulau sebira 400,62 kWP dengan menggunakan Fixed tilted orientation dengan manajemen energi menjadi satu Sistem.

Simulasi pada koordinat Pulau Sebira Kepulauan Seribu di $5^{\circ}12'6.6''$ LS $106^{\circ}27'47.1''$ BT / 5.201833° LS 106.463083° BT menggunakan Meteo File dari Meteonorm 8.0 (2010-2014) dari Database Pvsys Simulasi menggunakan Project design pada simulation grid connected untuk memudahkan proses perancangan walaupun PLTS Pulau Sebira merupakan pembangkit stand alone. Pada simulasi juga telah diperhitungkan Detail Losses default pada Software Pvsyst antara lain Field thermal loss factor, Ohmic Losses, Module-LID-Mismatch, Soiling Loss, IAM Losses, Aging, Unavailability dan spectral correction.

Simulasi menggunakan Mixed orientation dengan tilt 15o dan azimuth -105o dan tilt 15o dan azimuth 75o dengan manajemen energi Sistem 1 sebesar 211,2 kWP dan Sistem 2 sebesar 189,4 kWP.

Simulasi I Sistem 1 menggunakan kapasitas 211 kWP karena keterbatasan Software yang tidak dapat mensimulasikan dengan 211,2 kWP karena input jumlah modul dan string berupa bilangan bulat.

Orientasi module PV menggunakan several orientation dengan 2 orientasi, yaitu orientasi pada Tilt 15o dan Azimuth pada -105o sedangkan pada orientasi kedua pada Tilt 15o dan Azimuth pada 75o. Pada simulasi I menggunakan mixed orientation. Pada tahap ini komponen Sistem yang digunakan untuk simulasi berupa jumlah dan spesifikasi teknis PV, Inverter dan parameter teknis lainnya ditentukan. Setelah disimulasikan akan dihasilkan produksi listrik dalam setahun, produksi listrik setahun setiap kWP, Ratio performance dan losses yang timbul.

Hasil simulasi Sistem memproduksi energi pertahun sebesar 285,5 MWh/year dengan specific production 1352 kWh/kWp/year dan performance ratio 74,43%. Detail hasil simulasi ditunjukkan pada grafik dan tabel berikut ini.

Simulasi Sistem 2 menggunakan langkah langkah simulasi sebelumnya dengan Hasil simulasi Sistem memproduksi energi pertahun sebesar 257,4 MWh/year dengan specific production 1354 kWh/kWp/year dan performance ratio 74,41%.

Simulasi II PLTS Pulau Sebira 400,62 kWP dengan Perubahan Managemen Energi dilaksanakan dengan asumsi konfigurasi PLTS Pulau sebira 400,62 kWP dengan manajemen energi menjadi satu Sistem dengan pemasangan modul PV sama dengan pada simulasi I. Hasil simulasi Sistem memproduksi energi pertahun sebesar 544,6 MWh/year dengan specific production 1357 kWh/kWp/year dan performance ratio 73,99%.

Simulasi III, PLTS Pulau Sebira 400,62 kWp dengan Perubahan Orientasi PV dilaksanakan dengan asumsi Daya PLTS Pulau sebira 400,62 kWp dengan manajemen energi menjadi satu Sistem dan pemasangan modul PV menggunakan Fixed tilted orientation Tilt 15o dan Azimuth 0o. Modul PV dan Inverter pada simulasi ini sama dengan yang digunakan pada Simulasi I dan II. Hasil simulasi Sistem memproduksi energi pertahun sebesar 558,8 MWh/year dengan specific production 1393 kWh/kWp/year dan performance ratio 74,19%.

Analisa Performansi PLTS Pulau Sebira

Beban Harian Pulau Sebira

Suplai daya listrik pulau Sebira pada siang hari diperoleh dari PLTS dan pada malam hari diperoleh dari PLTD. Dalam melihat beban harian pulau Sebira pada malam hari dapat dilakukan dengan membandingkan data beban kedua pembangkit. Hasil perbandingan dimaksud memperlihatkan terjadi langgam yang sama antara hasil penelitian pada tanggal 29 Maret 2019 oleh PT. TML Energy dengan penelitian pada tanggal 12 Maret 2021 yang dilakukan oleh penulis. Perbedaan hanya terjadi pada pukul 20.00 yang semula 51 kW menjadi 65 kW.

Beban pada siang hari dapat dilihat dengan membandingkan antara Gambar 3.1. dengan Tabel 3.2 dan Gambar 3.2. Hasil perbandingan dimaksud tampak terjadi langgam yang sama antara hasil penelitian pada tanggal 29 Maret 2019 oleh PT. TML Energy dengan penelitian pada tanggal 10 s.d. 14 Maret 2021 yang dilakukan oleh Penulis. Pada Tabel 3.2 dan Gambar 3.2 secara umum tampak peningkatan beban jika dibandingkan dengan beban pada Tabel 3.1. Hal ini bisa disebabkan oleh perubahan gaya hidup sebagai contoh penggunaan Air Conditioner (AC) atau penambahan peralatan listrik lainnya sehingga meningkatkan konsumsi daya listrik.

Data memperlihatkan bahwa pada tanggal 13 dan 14 Maret 2021 dari pukul 11.00 WIB tampak terjadi peningkatan beban, karena pada tanggal dimaksud terdapat kegiatan warga Pulau Sebira yang akan melaksanakan acara pernikahan. Seperti dijelaskan sebelumnya, warga Pulau Sebira mempunyai hubungan kekerabatan yang sangat erat terutama dengan Warga di Pulau Kelapa dan Pulau lainnya pada gugusan Kepulauan Seribu sehingga acara tersebut menjadi media berkumpul dengan sanak keluarga dari Pulau lain. Dengan demikian banyak Warga dari pulau lainnya berdatangan ke pulau Sebira sehingga konsumsi daya listrik meningkat.

Apabila dibandingkan antara beban harian pulau Sebira yang diambil sampel pada tanggal 29 Maret 2019 oleh TML Energi sebesar 1116 kWh dengan hasil dengan penelitian [9] sebesar 1240,32 kWh, maka beban harian pada penelitian [9] lebih realitis dibandingkan dengan realita beban harian pulau Sebira sebelum diperhitungkan beban harian untuk menyuplai IPAL. Visualisasi beban harian diambil rata-rata beban harian dari System 1 dengan memperhitungkan beban harian PLTD dari pukul 00.00 s.d. 06.00 dan pukul 19.00 s.d. 23.00 karena beban disuplai oleh PLTD kemudian ditambahkan konsumsi IPAL yang ambil dari System 2.

Pada penghitungan konsumsi IPAL mengabaikan data pada tanggal 13 Maret 2021 karena pada tanggal tersebut antara pukul 00.00 s.d. 05.00 IPAL tampak tidak bekerja. Berdasarkan penghitungan dimaksud dihasilkan beban harian pulau Sebira sebesar $\pm 1498,22$ kWh. Beban harian dimaksud relatif sama dengan nilai beban harian hasil penelitian [9] jika dikurangi dengan beban harian IPAL sebesar $\pm 267,34$ kWh sehingga menjadi sebesar 1230,93 kWh.

Daya Pembangkitan PLTS Pulau Sebira

Jika dilihat dari rata rata Daya Pembangkitan per hari pada Januari dan Februari 2021, Sistem 1 terjadi puncak pembangkitan pada pukul 10.00 WIB dan Sistem 2 terjadi pada pukul 09.00 WIB, tetapi pada pembangkitan harian terjadi berbeda beda. Pada beban harian bulan Januari, Daya puncak pembangkitan cenderung < 100 kW tetapi pada tanggal 22 Januari Daya puncak pembangkitan sebesar 140 kW pada pukul 12.25 WIB. Disamping itu jika dibandingkan Total pembangkitan antara Sistem 1 dengan Sistem 2, pada bulan Januari terdapat 39,6 % dan pada bulan Februari 55,3% (Sistem 1 > Sistem 2).

Mempertimbangkan Daya pembangkitan puncak pada tanggal tanggal 22 Januari sebesar 140 kW pukul 12.25 WIB dan beberapa fluktuasi Daya pembangkitan harian yang terjadi tampak Daya pembangkitan sangat dipengaruhi cuaca. Pada bulan Januari dan Februari 2021 kondisi cuaca sering berawan dan hujan sehingga Daya pembangkitan tidak optimal. Jika melihat Data log harian pembangkitan secara acak, daya puncak pada kondisi cuaca baik terjadi antara pukul 09.30 WIB s.d. 14.30 dengan Daya Pembangkitan Sistem 1 antara 120 kW s.d. 142 kW.

Perbedaan waktu terjadinya puncak daya pembangkitan dan besar Daya Puncak yang dibangkitkan antara sistem 1 dengan sistem 2, hipotesa awal karena dipengaruhi perbedaan besar beban antara kedua sistem dimaksud. Pada sistem 1 konsumsi daya beban bisa mencapai 48 kW sedangkan pada sistem 2 hanya berkisar antara 8 kW s.d. 10,3 kW. Besarnya beban sangat mempengaruhi besar daya yang direkam ke dalam data log System, karena pencatatan daya pembangkitan hanya berdasarkan daya yang dikonsumsi langsung ke Beban dan yang yang digunakan untuk mengisi Baterai. Total daya pembangkitan merupakan hasil penjumlahan antara daya yang dikonsumsi langsung oleh beban dan daya yang digunakan mengisi Baterai. Hal ini dibuktikan oleh fenomena pembangkitan yang terjadi pada Daya pembangkitan harian tanggal 15 s.d. 16 Februari 2021 yang jauh lebih kecil dibandingkan dengan daya pembangkitan pada umumnya.

Fenomena daya pembangkitan tanggal 15 dan 16 Februari 2021 tersebut diatas apabila diteliti lebih jauh karena Daya yang dikonsumsi beban dan Daya yang mengisi baterai relatif kecil. Daya yang mengisi baterai relatif karena battery stage > 92% dan konsumsi daya beban $\pm 2,5$ kW diperkirakan pada tanggal tersebut konsumsi Daya beban disuplai oleh Genset (PLTD).

Apabila kita analisis lebih dalam, Daya pembangkitan yang direkam oleh data log System adalah merupakan output Inverter. Pada saat Daya pembangkitan yang masuk Inverter PV tetapi tidak dikonsumsi atau Daya yang masuk ke Bidirectional Inverter Baterai pada saat Battery stage penuh akan secara otomatis tidak mengisi. Pada kondisi dimaksud tidak berarti PLTS tidak membangkitkan daya tetapi daya yang dibangkitkan tidak dikonsumsi dan tidak dicatat oleh sistem.

Hasil Simulasi PLTS Pulau Sebir

Total pembangkitan pada PLTS dihasilkan Daya pembangkitan pada bulan Januari Sistem 1 sebesar 17.343,58 kWh dan Sistem 2 sebesar 6.173,14 kWh demikian juga untuk Pembangkitan bulan Februari Sistem 1 sebesar 16.558,18 kWh dan Sistem 2 sebesar 6.913,19 kWh. Apabila dibandingkan dengan hasil simulasi untuk Sistem 1, Daya pembangkitan bulan Januari sebesar 21,73 MWh dan Februari sebesar 22,74 MWh. Demikian juga untuk Sistem 2, pada bulan Januari sebesar 22,01 MWh dan bulan Februari sebesar 18,22 MWh.

Performance Ratio (PR) hasil simulasi Sistem 1 pada bulan Januari sebesar 67,6 % dan Februari sebesar 76,1%. PR hasil simulasi Sistem pada bulan Januari sebesar 76 % dan Februari sebesar 67,7%. PR ini merupakan hasil perhitungan. Maka apabila GlobInc pada bulan Januari 152,3 kWh/m² dan pada bulan Februari sebesar 141,5 kWh/m². Guna melihat kebenaran formula tersebut diatas digunakan untuk menghitung PR Sistem 1 pada bulan Januari Daya pembangkitan sebesar 21,73 MWh dan Pnom sebesar 211 kW dihasilkan PR sebesar 0,676 atau 67,6% atau sama dengan PR hasil simulasi.

Performansi Ratio PLTS Pulau Sebir dihitung menggunakan formula yang sama dan GlobInc yang sama dengan simulasi karena pada penelitian tidak dilaksanakan pengukuran Irradiasi matahari. Pada Sistem 2 terjadi fenomena pembebanan maka perhitungan diambil dari Daya pembangkitan Sistem 1 dihasil PR riil sebesar 0,539 atau 53,9 %. Hasil ini jika dibandingkan dengan hasil Simulasi terdapat selisih 13,7%. Hal ini sepadan jika dibandingkan dengan penelitian kinerja PLTS[7] yang dibandingkan dengan hasil Simulasi PLTS antara Energi yang dihasilkan secara riil dengan Energi yang dihasilkan melalui simulasi terdapat perbedaan sebesar 15,53%.

Perbandingan Daya Pembangkitan per tahun antara Simulasi I : Simulasi II : Simulasi III dihasilkan secara berturut turut sebesar 542,4 MWh : 545,7 MWh : 558,8 MWh. Jika dibandingkan antara PLTS Pulau Sebira yang pemasangan Modul PV nya menggunakan Mixed orientation dengan Fixed orientation pembangkitan per tahunnya terdapat selisih sebesar 16,4 MWh/year lebih kecil. Namun demikian jika ditinjau dari konstruksi Mixed orientation yang yang diterapkan pada PLTS Pulau Sebira lebih tahan terhadap angin dan dapat menyesuaikan dengan ketersediaan lahan karena kondisi Pulau yang relatif kecil ketersediaan lahan sangat terbatas dan tiupan angin cenderung lebih kencang karena dikelilingi laut.

Manajemen Energi PLTS Pulau Sebira

Manajemen energi dibagi menjadi Sistem 1 dan Sistem 2 dapat menjaga supply and demand secara optimal jika diikuti dengan pembagian pasokan daya ke beban secara merata dan disediakan baterai yang cukup sebagai penyimpanan pada saat peak shaving sehingga seluruh Daya Pembangkitan dapat dimanfaatkan secara optimal.

Pada kondisi manajemen energi saat ini bisa dikategorikan Sistem tidak berfungsi secara optimal, karena pada Sistem 2 hanya memasok beban ≤ 10 kW padahal Daya pembangkitan secara simulasi untuk bulan Januari Sistem 2 sebesar 22,1 MWh namun hanya digunakan sebesar 6,17 MWh demikian juga untuk Pembangkitan bulan Februari Sistem 2 sebesar 18,22 MWh hanya digunakan sebesar 6,9 MWh. Jika hasil simulasi tersebut pada kondisi riil 13% s.d. 15% lebih rendah, maka daya yang tidak dimanfaatkan masih relatif sangat besar (Daya yang dimanfaatkan < 50%).

Pada saat ini operasional PLTS Pulau Sebira dimanfaatkan untuk memenuhi Daya yang dibutuhkan Pulau Sebira selama 12 Jam pada siang hari pukul 07.00 WIB s.d. 19.00 WIB dan pada malam hari digunakan PLTD dari pukul 19.00 WIB s.d. pukul 07.00 WIB. Berdasarkan data log energy balance operasional PLTS Pulau Sebira dapat ditingkatkan lebih optimal.

Optimalisasi operasional PLTS Pulau Sebira dapat dilakukan dengan cara mengubah manajemen energi atau dengan mengintegrasikan PLTS dengan PLTD sehingga menjadi Sistem hybrid. Beban harian Pulau Sebira pada saat ini sekitar 1,5 MWh/ day atau jika memperhitungkan toleransi kenaikan beban sebesar 15% sehingga menjadi 1,7 MWh/ day. Jika dibandingkan dengan hasil Simulasi II yang menghasilkan Daya pembangkitan sebesar 545,7 MWh/year dalam kondisi Ideal mampu menyuplai Daya kebutuhan Pulau Sebira selama 1 x 24 Jam sebesar 1,495 MWh/day dengan demikian jika dibandingkan dengan beban harian dimaksud, maka PLTS Pulau Sebira bisa memenuhi beban harian > 12 Jam bahkan bisa mencapai 20 Jam.

Kondisi dimaksud akan lebih optimal apabila PLTS diintegrasikan dengan PLTD menjadi sistem hybrid, sehingga pada kondisi tertentu apabila Daya pembangkitan tidak mencukupi maka dapat disuplai oleh PLTD. Berkurangnya operasional PLTD secara langsung akan mengurangi emisi gas buang yang merupakan limbah akibat operasional PLTD.

KESIMPULAN DAN SARAN

Dari hasil penelitian performansi PLTS Pulau Sebira dapat disimpulkan sebagai berikut:

1. Performansi Ratio (PR) PLTS Pulau Sebira cukup baik jika dibandingkan hasil Simulasi melalui Software PVSyst dengan PR pembangkitan secara riil terjadi perbedaan sebesar 13,7% lebih kecil. Hal ini jika dibandingkan dengan penelitian sejenis [7] masih lebih baik karena pada penelitian dimaksud terjadi perbedaan 15,53% lebih kecil.
2. Daya pembangkitan PLTS Pulau Sebira sebenarnya mampu mensuplai kebutuhan listrik Pulau Sebira selama lebih dari 12 jam jika manajemen energi antara Sistem 1 dan Sistem 2 diatur ulang, karena daya pembangkitan pada Sistem 2 tidak dimanfaatkan secara optimal.
3. Optimalisasi operasional PLTS Pulau Sebira diperlukan dengan cara melaksanakan integrasi dengan PLTD yang ada menjadi Sistem hybrid sehingga pemanfaatan sumber daya yang ada dapat optimal dan mengurangi emisi gas buang dari Genset yang semula beroperasi selama 12 jam menjadi kurang dari 12 jam.

4. Perbedaan PR hasil simulasi dengan PR secara riil berdasarkan perhitungan pada daya yang dibangkitkan sistem PLTS sangat dipengaruhi oleh beberapa hal :
 - a. Referensi GlobInc tidak menggunakan data Flux matahari secara riil di lapangan tetapi menggunakan data Meteonorm 8.0. dari Software PVSyst;
 - b. Cuaca pada bulan Januari dan Februari 2021 sering berawan dan hujan, sehingga daya pembangkitan tidak optimal (relatif rendah);
 - c. PR hasil perhitungan sangat dipengaruhi oleh Beban terpasang pada Sistem karena Data Log Sistem merupakan data pembangkitan output Inverter yang dikonsumsi dan digunakan untuk pengisian baterai, bukan Daya yang dibangkitkan sistem secara riil.

PLTS Pulau Sebira operasionalnya dapat dioptimalisasi dengan melaksanakan integrasi sistem dengan PLTD *existing* menjadi Sistem hybrid dan disarankan sebagai berikut :

1. Integrasi Sistem dapat dipercepat dengan koordinasi secara intent antara PLN dengan Pemda DKI Jakarta atau pemegang kebijakan untuk membahas masalah biaya operasional Genset dan Aset.
2. Opsi lainnya agar Integrasi Sistem segera berjalan dengan cara mengurus administrasi hibah Genset PLTD Pulau Sebira ke PLN agar tidak terjadi dualisme birokrasi dalam pengoperasian Hybrid PLTS dan PLTD Pulau Sebira.

REFERENSI

1. D. Ariyanto, "Cara Kerja Pembangkit Listrik Tenaga Surya," Alterra bills. 2019.
2. C. E. K. Fakta et al., "Sejarah penghuni Pulau Sabira, hanya boleh dirikan tenda | merdeka.com," Merdeka.com, Jakarta, Sep. 22, 2014.
3. R. Febian.Andreas, Audita.Marcia, and Romadoni.Ahmad, "PLTS Pulau Sebira Jadi Kado Ulang Tahun Kepulauan Seribu," KumparanNEWS, Jakarta, 2020.
4. S. J. Fonash, Solar Cell Device Physics, 2nd ed. British Library Cataloguing-in-Publication Data, 2010.
5. A. G. Hutajulu, M. RT Siregar, and M. P. Pambudi, "Rancang Bangun Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) on Grid Di Ecopark Ancol," TESLA J. Tek. Elektro, vol. 22, no. 1, p. 23, 2020, doi: 10.24912/tesla. v22i1.7333.
6. A. R. Jha, Solar cell technology and applications. Boca Raton, London, New York: Auerbach Publications, 2009.
7. A. Mansur, "Analisa Kinerja PLTS on Grid 50 Kwp Akibat Efek Bayangan Menggunakan Software Pvsyst," Transmisi, vol. 23, no. 1, pp. 28–33, 2021, doi: 10.14710/transmisi.23.1.28-33.
8. D. Perindustrian, dan. Energi, P. Provinsi, and D.K.I. Jakarta, "Implementasi energi baru terbarukan dan konservasi energi di DKI Jakarta," Jakarta, 2018.
9. A. R. Prasetyo, "Studi Kelayakan Proyek Pemasangan Pembangkit Listrik Tenaga Surya 400 kWp Terpusat di Pulau Sebira," Institut Teknologi PLN, 2020.
10. PVSyst On-grid, "PVSyst_Tutorials_ V7_Grid_Connected."www.pvsyst.com, Route de la Maison-Carrée 30 - 1242 Satigny - Switzerland, pp. 4–18, 2019.
11. TMLEnergy, "Pola Operasi PLTS Off-Grid Pulau Sebira 400 kWp," Jakarta, 2020.