

# OPTIMASI KINERJA SISTEM PEMBANGKIT HYBRID

Nurmela<sup>1</sup>, Nurul Hiron<sup>2</sup>  
Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Siliwangi, Tasikmalaya, Indonesia<sup>1,2</sup>  
email: Nurmela14@gmail.com, hiron@unsil.ac.id

## Abstract

Karimunjawa Island has yet to get electricity services from PLN. Instead, the electricity supply is obtained from PLTD. The disadvantage of the PLTD is the significant operational cost of generation (BPP), which reaches Rp. 6500/kWh in 2018. In this article, proposing a solution to reduce BPP costs through energy diversification, which is a combination of PLTS and PLTD. The proposed method is the LCOE and BPP analysis to obtain the value of optimization economically, then through simulation, the composition of the right scenario for the Karimunjawa electricity system and the analysis of the system performance of the selected scenario are determined. The results of the analysis, it was found that the Cost of Generating (BPP) can be reduced through PLTS penetration. The results of the analysis show the system performance after PLTS penetration, an improvement in power system optimization, including losses to 1%, power flow, short circuit ratio, and intermittency conditions when irradiation drops from 100% to 25% minimum system frequency 49.5 Hz.

**Keywords:** Karimun island, diversification, PLTD, PLTS, System

## Abstrak

Pulau Karimunjawa hingga saat ini belum mendapatkan layanan listrik dari PLN, sebagai gantinya suplai listrik diperoleh dari PLTD. Salah satu kekurangan dari PLTD adalah Biaya Pokok Pembangkitan (BPP) operasional yang besar, yaitu mencapai Rp. 6500/kWh pada tahun 2018. Pada artikel ini, mengusulkan solusi pengurangan biaya BPP melalui diversifikasi energi, yaitu gabungan dari PLTS dan PLTD. Metode yang diusulkan adalah analisis LCOE dan BPP untuk mendapatkan nilai optimasi secara ekonomi, kemudian melalui simulasi, ditentukan komposisi skenario yang tepat untuk sistem kelistrikan Karimunjawa dan analisis performa sistem dari skenario yang dipilih. Hasil dari analisis, diperoleh bahwa Biaya Pokok Pembangkitan (BPP) dapat ditekan melalui penetrasi PLTS. Hasil analisis menunjukkan kinerja sistem setelah penetrasi PLTS, terjadi perbaikan optimalisasi sistem tenaga, di antaranya losses menjadi 1%, aliran daya, short circuit ratio, serta kondisi intermittency ketika iradiasi turun dari 100% ke 25% frekuensi sistem minimum 49.5 Hz.

**Kata Kunci:** Karimunjawa, diversifikasi, PLTD, PLTS, Sistem.

## I. PENDAHULUAN

Seluruh produksi tenaga listrik di Pulau Karimunjawa adalah dari PLTD yang berkapasitas 2x2,7 MW dengan bahan bakar solar. Harga bahan bakar diesel yang semakin meningkat, menyebabkan biaya pokok produksi menjadi sangat tinggi yaitu mencapai Rp. 6.500/kWh. Hal ini menjadi bahan pertimbangan PLN Karimunjawa untuk berupaya menurunkan biaya pokok produksi. Sejalan dengan rencana pemerintah pusat, bahwa penambahan pembangkit energi terbarukan ini sudah mulai menjalankan program energi terbarukan dengan target 23% di tahun 2025 [1].

Salah satu upaya untuk menurunkan biaya pokok produksi adalah menggunakan pembangkit Intermittent yang berbiaya murah dengan metode *Hybrid* [2]. Kemudian untuk membuat Pembangkit Listrik *Hybrid* mempunyai biaya produksi lebih murah daripada PLTD konvensional yaitu dengan menggabungkan PLTD dan pembangkit energi terbarukan yang berbiaya murah [3]. Energi surya merupakan sumber energi yang ramah lingkungan dan murah karena tidak memerlukan bahan bakar untuk pembangkitannya. Dengan demikian, penetrasi PV menjadi alternatif solusi untuk mengurangi biaya pokok pembangkitan dari PLTD.

Pada paper ini dibahas mengenai prosedur teknis dalam upaya perbaikan optimalisasi dari sistem pembangkitan listrik Pulau Karimunjawa ketika sebelum penggunaan metode *Hybrid* dan setelah menggunakan metode *Hybrid* serta menghitung LCOE dan BPP dengan beberapa tingkat penetrasi, untuk mendapatkan nilai pembangkitan optimal. Adapun indeks nilai yang diperhitungkan untuk melihat performa sistem yaitu, simulasi loadflow untuk mengetahui tegangan pada tiap ujung feeder dan losses, sedangkan untuk simulasi short circuit ratio untuk mengetahui *breaking shrot-*

*circuit current* ( $I_b$ ) atau batas nilai arus yang dapat dilalui, kemudian untuk simulasi transient yaitu untuk mengetahui nilai kestabilan frekuensi ketika kondisi intermitensi atau kehilangan pembangkit *photovoltaic* (PV) pada saat beban rendah atau ketika solar panel tertutup oleh awan.

### A. Pembangkit Listrik Hybrid

sistem *Hybrid* pada adalah penggunaan dua atau lebih pembangkit listrik dengan sumber yang berbeda [3]. Tujuan utama dari sistem *Hybrid* pada dasarnya adalah berusaha menggabungkan dua atau lebih sumber (sistem pembangkit) sehingga dapat saling menutupi kelemahan masing-masing dan dapat dicapai keandalan supply dan efisiensi economic pada beban tertentu.

### B. Pembangkit Listrik Tenaga Diesel (PLTD)

Pembangkit Listrik Tenaga Diesel (PLTD) adalah teknologi pembangkit yang paling umum digunakan untuk sistem tenaga listrik di daerah berbentuk pulau-pulau [2]. Generator diesel beroperasi paling efisien pada beban tertentu, umumnya 65-80% dari kapasitas maksimum. Pembangkit listrik pulau umumnya dirancang untuk memenuhi berbagai permintaan sekaligus menjaga generator sedekat mungkin dengan beban.

### C. Sistem PLTS

Pembangkit listrik yang memanfaatkan energy matahari adalah pembangkit listrik tenaga surya (PLTS) [4]. Sistem Photovoltaic terdiri atas sel surya (panel atau array), rangkaian pengendali pengisian BCU (Battery Control Unit), Baterai dan Inverter. Besar daya panel surya yang akan digunakan idealnya harus lebih besar dari daya beban yang akan digunakan [5].

Pemanfaatan energi surya mempunyai berbagai keuntungan, yaitu energi surya tersedia dengan jumlah besar di Indonesia, sangat mendukung kebijakan energi nasional tentang penghematan, diversifikasi dan pemerataan energi, serta memungkinkan dibangun di daerah terpencil karena tidak memerlukan transmisi energi maupun transportasi sumber energi [6]. Adapun perhitungan untuk mengetahui besar kebutuhan lahan ( $V_{idc}$ ) untuk pembangunan PLTS, yaitu:

$$V_{idc} = \frac{2\sqrt{2}xV_u}{\sqrt{3}xM_a} \quad (2)$$

Di mana  $V_i$  adalah tegangan keluaran converter (V),  $V_u$  adalah tegangan DC untuk memperoleh tegangan AC (V). Jumlah modul surya (NM) yang diperlukan dalam satu string adalah:

$$NM = \frac{V_{idc}}{V_{mpp}} \quad (3)$$

Di mana NM adalah jumlah modul surya atau panel surya,  $V_i$  adalah tegangan keluaran converter (V),  $V_{mpp}$  adalah tegangan maksimum keluaran panel surya.

Sedangkan daya string ( $P_{string}$ ) keseluruhan yaitu jumlah modul surya dikali daya maksimum keluaran panel surya, secara matematis yaitu:

$$P_{string} = NM \times P_{mpp} \quad (4)$$

Di mana  $P_{string}$  adalah daya string keseluruhan (Watt),  $P_{mpp}$  adalah daya maksimum keluaran panel surya (Watt). Maka jumlah string (NS) dalam satu array dan jumlah array (NA) yang diperlukan yaitu:

$$NS = \frac{P_A}{P_{string}} \quad (5)$$

$$NA = \frac{P_{plts}}{P_A} \quad (6)$$

Maka persamaan (7) adalah total modul PLTS (TNM) yang dibutuhkan adalah :

$$TNM = NM \times NS \times NA \quad (7)$$

Di mana NS adalah jumlah string dalam satu array,  $P_A$  adalah daya yang dihasilkan satu array (Watt), NA adalah jumlah Array yang dibutuhkan,  $P_{plts}$  adalah daya PLTS (W) [2].

#### D. Analisis Aliran Daya dan Short Circuit Ratio (SCR)

Studi aliran daya (*load flow*) digunakan untuk menentukan tegangan, arus, daya aktif, atau daya reaktif di berbagai macam titik/bus pada jaringan listrik dalam kondisi operasi normal [2].

*Short Circuit Ratio* (SCR) didefinisikan sebagai rasio dari MVA hubung singkat pada titik interkoneksi (sebelum interkoneksi generator) terhadap MW dari generator interkoneksi. SCR digunakan untuk mengukur kekuatan sistem tenaga listrik sehubungan dengan interkoneksi generator. Semakin rendah SCR, semakin lemah suatu sistem tenaga listrik. Sistem yang lemah menjadi lebih mudah terjadi masalah ketika Pembangkit Listrik Hybrid dengan pengontrol cepat terhubung dengan sistem tenaga listrik. SCR dalam kisaran 2 – 20 digunakan sebagai *rule of thumb* [2].

$$I_{SCR} = \frac{Sc}{Pg} \quad (8)$$

Di mana,  $I_{SCR}$  adalah arus yang dapat mengalir agar alat pemutus tidak bereaksi (A), Sc adalah kapasitas apparent power titik interkoneksi (MVA), Pg adalah kapasitas daya aktif generator interkoneksi (MW).

#### E. Levelized Cos of Energy (LCOE)

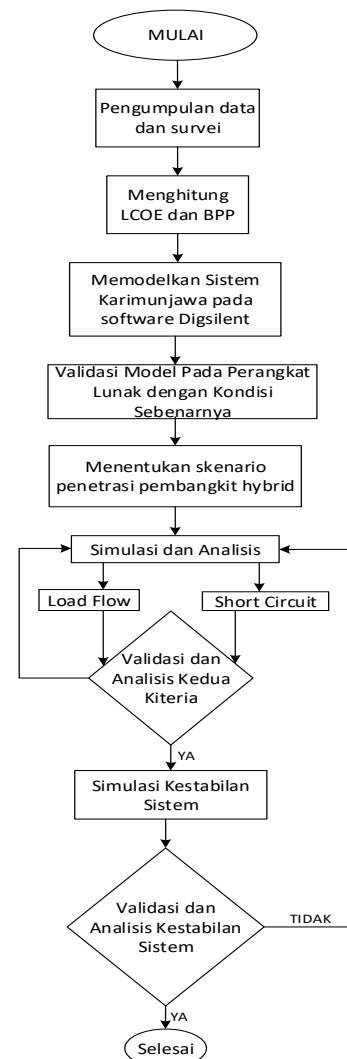
Biaya energy yang terukur atau LCOE serupa dengan konsep pengembalian sistem energy. Namun , alih-alih mengukur berapa banyak yang diperlukan untuk menutup investasi awal, LCOE menentukan berapa banyak biaya yang harus dibayarkan per unit listrik (kWh, MWh, dll). Hal ini termasuk investasi modal awal, biaya pemeliharaan, biaya bahan bakar untuk sistem (jika ada), semua biaya operasional dan tingkat diskonto. Persamaan dari LCOE dapat dilihat pada rumus berikut :

$$\frac{\sum_{t=1}^n \frac{I_t + M_t + F_t}{(1+r)^t}}{\sum_{t=1}^n \frac{E_t}{(1+r)^t}} \quad (8)$$

Di mana,  $I_t$  adalah investasi pada tahun t,  $M_t$  adalah biaya operasi dan perawatan pada tahun t,  $F_t$  adalah biaya bahan bakar pada tahun t,  $E_t$  adalah energi listrik yang dihasilkan pada tahun t, R adalah discount rate, N adalah umur sistem.

## II. METODE

Ada beberapa tahapan dalam penelitian ini, tahapannya ditunjukkan pada Gambar 1.



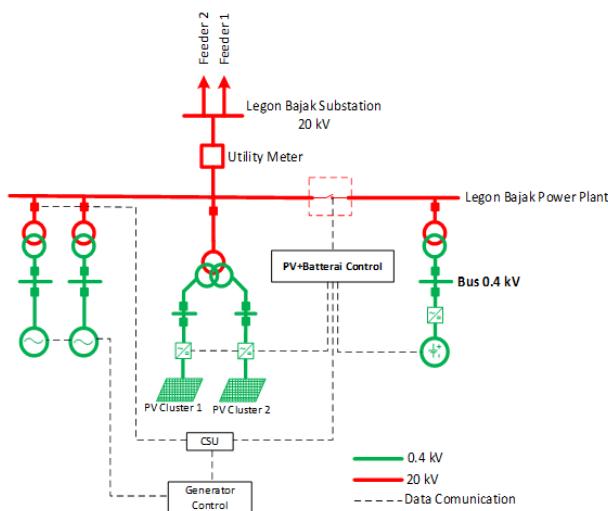
Gambar 1. Diagram Alir Penelitian

III. HASIL DAN PEMBAHASAN

**Konsep Hybrid**

Konsep hybrid yang digunakan pada penelitian ini yaitu sistem On Grid. Sistem On Grid bekerja langsung dari panel surya tanpa menggunakan baterai, sistem ini dapat langsung disalurkan kepada beban. Energy listrik yang dihasilkan dari panel surya adalah listrik DC (Direct Current), kemudian diubah menjadi Listrik AC (Alternating Current) melalui inverter. Arus DC yang diubah menjadi arus AC tersebut langsung dapat digunakan kepada beban.

Seluruh penggunaan listrik pada waktu siang hari di suplai dari energy listrik PLTS, dan untuk malam hari listrik di suplai dari PLTD, sedangkan ketika terjadi *intermittency* maka baterai akan bekerja untuk menyuplai daya.



Gambar 2. Konsep Hybrid pada sistem Karimunjawa Pengembangan Pembangkit Hybrid

Penetrasi PLTS diasumsikan akan berlangsung pada tahun 2022. Berdasarkan kurva beban pada desember 2018, dapat diasumsikan kurva beban pada tahun pengembangan pembangkit PLTS yaitu tahun 2022, dengan asumsi kenaikan beban sebesar 3.48% per tahun. Pada pengembangan ini, sistem karimunjawa mencapai beban puncak sebesar 1,4 MW.

**LCOE (Levelized Cost of Electricity) Pembangkit Hybrid**

Setelah diketahui pengembangan pembangkit pada sistem Karimunjawa, dapat dilakukan analisis dan perhitungan LCOE. Analisis dan perhitungan LCOE dilakukan dengan beberapa scenario penetrasi, untuk mendapatkan tingkat optimasi pembangkit secara ekonomi.

Tabel 9. Rekap Hasil Perhitungan LCOE

Penetrasi PLTS (%)	LCOE (Rp/kWh)
10	4327,799893
20	4260,724773
30	4193,649653
40	4126,574533
50	4059,499413
60	3992,424292
70	3925,349172
80	3840,538162
90	3773,463042
100	3724,137997

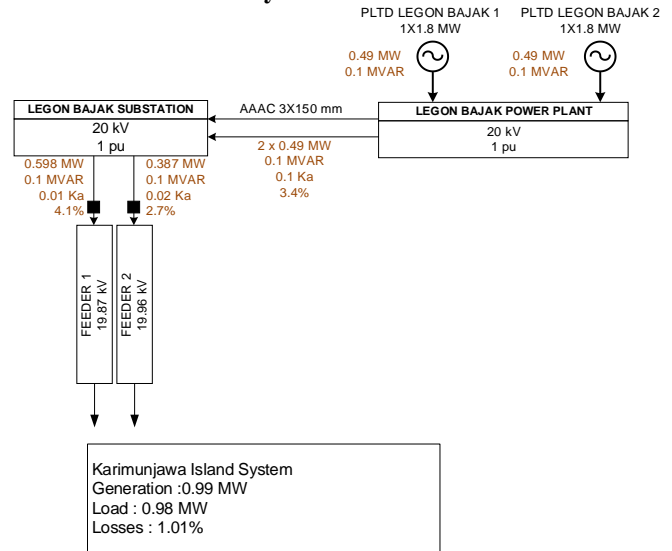
Dari tabel di atas, dapat disimpulkan bahwa LCOE paling rendah yaitu pada saat penetrasi 100% dengan nilai LCOE 3724,137997 Rp/kWh.

**BPP Pembangkit Listrik Hybrid**

BPP atau biaya pokok pembangkitan adalah biaya rata-rata pembangkitan dalam sebuah sistem tenaga. Pada sistem Karimunjawa, hanya terdapat satu jenis pembangkit yaitu pembangkit Hybrid, maka dari itu BPP sama dengan nilai LCOE.

**Kinerja Sistem Karimunjawa Sebelum Penetrasi PLTS**

**1. Simulasi Aliran Daya Beban Rendah**



Gambar 3. Aliran Daya Pada Beban Rendah sebelum penetrasi

Pada kondisi beban rendah, tidak ada batas loading dan tegangan yang terlampaui. Untuk nilai losses dari beban rendah sistem ini adalah 1.01%. Pada sistem ini pembangkit yang beroperasi hanyalah PLTD. Dari simulasi aliran daya ini diketahui bahwa daya pembangkitan sebesar 0.99 MW dan daya pembebanan sebesar 0.98 MW.

**Analisis Hubung Singkat**

Hasil simulasi menunjukkan nilai Ib masih di bawah 12.5 kA sehingga masih aman digunakan CB dengan kapasitas 12.5 kA.

**Penentuan Skenario Interkoneksi Pembangkit Listrik Hybrid**

Pembangkit listrik hybrid dengan nilai BPP, dikatakan layak saat scenario pembangkit listrik hybrid memiliki BPP lebih rendah daripada BPP sebelum penetrasi pembangkit hybrid. Sehingga solusi pada pembangkit listrik hybrid sistem Karimunjawa, menggunakan scenario sebagaimana pada Tabel 13.

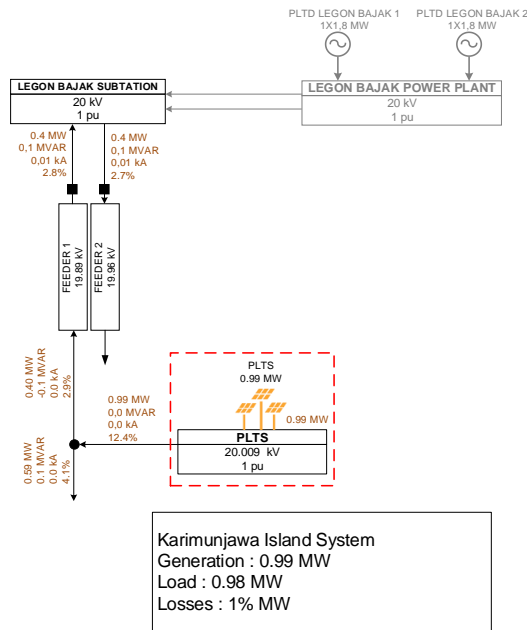
Tabel 13. Solusi Pembangkit Hybrid di Karimunjawa

Kapasitas Hybrid (MW)	Kapasitas PV (MW)	Baterai (Mah)	PLTD (MW)	LCOE (Rp/kWh)
1,4	0,99	3.3	2 x 2,7	3724,138

**Kinerja Sistem Karimunjawa Setelah Penetrasi PLTS**

**1. Analisis Aliran Daya**

Dengan adanya penetrasi PLTS sebesar 0.99 MW pada sistem Karimunjawa, maka losses berkurang dari kondisi sebelum penetrasi PLTS sebesar 1.01% menjadi 1%.



Gambar 4. Aliran Daya sistem setelah penetrasi PLTS

**2. Analisis Hubung Singkat**

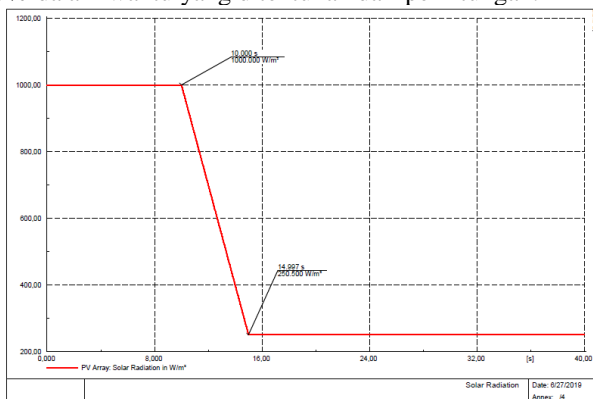
Tabel 14. Hasil Simulasi Hubung singkat setelah penetrasi PLTS

Substation	Ib (kA)
Legon Bajak	0.65173
KRM1-21	0.64565

Berdasarkan data yang didapat setelah simulasi hubung singkat, arus hubung singkat breaker (Ib) kurang dari 12.5 kA, sehingga masih aman untuk sistem Karimunjawa.

**Analisis Kestabilan Frekuensi**

Pada analisis kestabilan transien ini akan dilihat frekuensi dan daya sistem apabila mengalami gangguan lepasnya generator. Pada kasus PLTS ini, perubahan radiasi yang ekstrim dianggap sebagai lepasnya PLTS. Maka pada penelitian tugas akhir ini terdapat suatu kondisi yang akan dianalisis yaitu ketika awan menutupi modul surya secara tiba-tiba sehingga daya keluaran PLTS turun dari 100% ke 25% dalam waktu yang ditentukan dari perhitungan.



Gambar 5. Radiasi Sinar Matahari turun 75%

Dari perhitungan luas lahan diketahui bahwa luas lahan untuk penetrasi 0.99 MW adalah 1.13 ha. Dengan asumsi bahwa luas lahan persegi maka didapat:

$$s = \sqrt{11300m^2} = 106,3 m$$

Dari kondisi iklim di pulau Karimunjawa diketahui bahwa kecepatan angin tertinggi adalah 18 m/s. maka

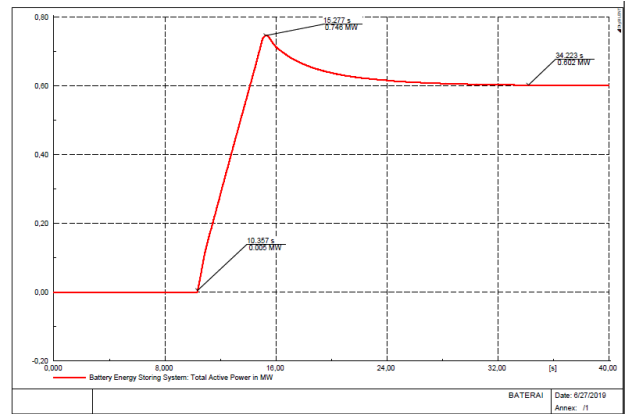
gradient penurunan daya per satuan waktu adalah sebagai berikut :

$$m = \frac{P_{PLTS}}{s} \times Va$$

$$m = \frac{0.99}{107.24} \times 18$$

$$m = 0.166 MW/s$$

Untuk penurunan daya dari 100% ke 25% dibutuhkan waktu:

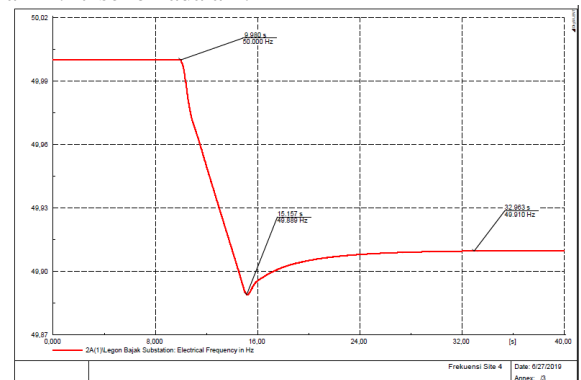


$$t = \frac{P_{PLTS} \times 0.75}{s}$$

$$t = \frac{0.99 \times 0.75}{0.166}$$

$$t = 4.47 \text{ sekon}$$

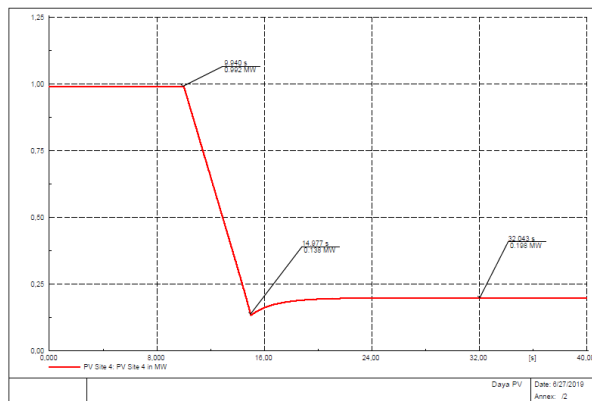
Maka Frekuensi sistem ketika daya turun dari 100% ke 25% dalam 4.47 sekon adalah :



Gambar 5. Frekuensi Sistem saat daya turun 75%

Dari data fluktuasi frekuensi di atas, terlihat bahwa nilai dari ayunan frekuensi tidak melampaui batas UFR (Under Frequency Relay) Karimunjawa. Terlihat frekuensi menyentuh angka 49.889 Hz kemudian kembali berayun naik lalu kembali pada keadaan steady state dengan nilai frekuensi 49.91 Hz. Hal ini menyatakan bahwa sistem Karimunjawa masih dalam kondisi stabil.

Adapun dampak lainnya dari peristiwa awan menutupi modul surya yaitu turunnya daya aktif, hal tersebut ditunjukkan pada Gambar 6.



Gambar 6. Penurunan daya aktif PLTS (MW)

Pada grafik di atas terlihat bahwa dampak dari peristiwa awan menutupi modul surya secara tiba-tiba, sehingga iradiasi yang mengenai modul PLTS turun dari 100% ke 25%, menyebabkan daya aktif PLTS turun dari 0.992 MW ke 0.138 MW.

Salah satu upaya menjaga frekuensi agar tidak turun melebihi batas maksimum frekuensi adalah respon dari baterai. Baterai dapat cepat merespon dengan mengeluarkan daya untuk suplai beban. Dapat dilihat dari gambar 20 bahwa baterai merespon dengan mengeluarkan daya sebesar 0.746 MW

#### IV. KESIMPULAN

Pada penelitian ini, kinerja sistem kelistrikan Karimunjawa sebelum adanya penetrasi PLTS telah cukup baik dengan besar losses 1.01%. Namun, karena biaya pokok pembangkitan cukup tinggi yaitu Rp. 6500/kWh maka solusi untuk penurunan BPP dilakukan, dengan melakukan penetrasi PLTS. Berdasarkan hasil penelitian, dapat disimpulkan bahwa jika akan dilakukan penetrasi pembangkit listrik hybrid, maka komposisi terbaik untuk pembangkit listrik hybrid seperti pada tabel 4.22. penetrasi pembangkit listrik hybrid dengan komposisi tersebut menunjukkan kelayakan secara BPP sistem menjadi turun, aliran daya, level arus hubung singkat serta transient ketika turunya iradiansi 100% ke 25%.

Sesuai hasil penelitian, penetrasi PLTS dapat dilakukan di pulau Karimunjawa, karena simulasi menunjukkan kinerja sistem setelah penetrasi PLTS cukup baik bahkan losses turun menjadi 1.00%, selain itu hasil simulasi juga menunjukkan kelayakan secara aliran daya, short circuit ratio, serta kondisi intermittency ketika iradiasi turun dari 100% ke 25% frekuensinya masih di atas batas 49.5 Hz.

#### UCAPAN TERIMA KASIH

Jika ada, ucapan terima kasih ini ditujukan kepada Program Studi Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Siliwangi atas dukungan yang telah diberikan sehingga penelitian ini terlaksana.

#### REFERENSI

- [1] 2019-2028 RUPTL PLN, "RENCANA USAHA PENYEDIAAN TENAGA LISTRIK PT. PLN (PERSERO) 2019 - 2028," *Isbn 978-979-1203-14-2*, p. 1071, 2019.
- [2] A. Bagaskara, *Skema Pola Operasi Pembangkit Listrik Hybrid, PLTS-PLTD-Baterai, Dengan*

*Tingkat Penetrasi PLTS Tinggi.* 2018.

- [3] J. Zulfakar Athur Banartama, "Sistem Tenaga Listrik Tenaga Hybrid ( PLTH ) Yang Dibuat Di Kedubes Austrian," *Elektro.Undip.Ac.Id*, p. 7, 1953.
- [4] T. Nurhayati, "Pemodelan sistem pembangkit hybrid energi solar dan angin," vol. 10, no. 024, pp. 28–32, 2018.
- [5] Mario Roal, "Peningkatan Efisiensi Energi Menggunakan Baterai Dengan Kendali Otomatis Penerangan Ruang Kelas Berbasis PLTS," *J. Elkha*, vol. 7, no. Jurnal ELKHA, pp. 12–19, 2015.
- [6] M. D. Surindra, "Analisis Karakteristik Electrical Modul Photovoltaic untuk Pembangkit Listrik Tenaga Surya Skala Laboratorium," *ISBN 978-602-99334-1-3*, vol. B.74, pp. 74–78, 2012.

#### BIOGRAFI PENULIS



**Nurmela**, lahir di Kuningan 14 Oktober 1996 sebagai anak ke-3 dari tiga bersaudara, penulis melanjutkan pendidikan jurusan Teknik Elektro di Universitas Siliwangi, Tasikmalaya dan mengambil konsentrasi penelitian Analisis Sistem Tenaga. Kemudian mulai bekerja sebagai power system engineer.