IMPLEMENTASI ALGORITMA EHO UNTUK PERANCANGAN SISTEM ENERGI TERBARUKAN: PV-GELOMBANG LAUT DI WILAYAH KEPULAUAN

Annisa Nurfadhilah[1], Muhdalifah Muhtar[2], Maya Itasari[3], Nurul Amalia Amri[4], Muhammad Ridhwan[5], Marliani[6]

[12345]Politeknik Negeri Ujung Pandang, [6]Akademi Teknik Sorowako

[1]annisanurfadhilah@poliupg.ac.id ,[2] muhdalifahmuhtar@poliupg.ac.id ,[3] mayaitasari@poliupg.ac.id ,[4] amaliaamri@poliupg.ac.id ,[5] muhammad.ridhwan@poliupg.ac.id, [6] marliani@ats-sorowako.ac.id

ABSTRAK

Kebutuhan listrik di daerah terpencil seperti Pulau Pasi, Kabupaten Kepulauan Selayar, mendorong pengembangan pembangkit listrik berbasis energi terbarukan. Penelitian ini mengkaji sistem pembangkit listrik hibrida yang mengintegrasikan panel surya (Photovoltaic/PV) dan pembangkit gelombang laut, dengan tujuan untuk mengoptimalkan produksi energi dan menekan biaya investasi. Metode optimasi yang digunakan adalah Elephant Herding Optimization (EHO), yang diterapkan pada simulasi menggunakan perangkat lunak MATLAB. Data yang digunakan mencakup beban listrik wilayah, iradiasi matahari, temperatur, dan tinggi gelombang laut selama tahun 2024. Hasil simulasi menunjukkan konfigurasi optimal terdiri dari 271 unit PV, 1 unit pembangkit gelombang laut, dan 102 unit baterai, dengan total energi yang dihasilkan sebesar 300.002 kWh per tahun. Total biaya investasi (NPC) yang dibutuhkan sebesar Rp 5.336.159.983 dan biaya energi (COE) sebesar Rp 1.852/kWh. Sistem ini menunjukkan potensi yang besar dalam penyediaan listrik berkelanjutan di wilayah kepulauan. Penelitian ini juga memberikan pendekatan teknis dan ekonomis yang dapat dijadikan model untuk implementasi energi terbarukan di daerah serupa.

Kata kunci: energi terbarukan, PV, gelombang laut, EHO, sistem hibrida

1. PENDAHULUAN

Kebutuhan listrik masyarakat Indonesia terus meningkat seiring dengan pertumbuhan penduduk, industrialisasi, serta peningkatan kualitas hidup. Berdasarkan data Kementerian ESDM, konsumsi listrik nasional pada tahun 2023 mencapai sekitar 1.17 MWh per kapita [1], meningkat dari 1.06 MWh per kapita pada tahun 2018. Kenaikan konsumsi listrik ini tentu memerlukan kapasitas pembangkitan energi yang lebih besar. Namun, hingga tahun 2023, sistem ketenagalistrikan Indonesia masih didominasi oleh pembangkit listrik berbasis bahan bakar fosil, seperti batu bara dan gas alam, yang berkontribusi besar terhadap emisi gas rumah kaca (GRK)[2]. Kapasitas pembangkit listrik nasional pada tahun 2023 telah mencapai lebih dari 83 GW, namun hanya sekitar 14,1% yang berasal dari Energi Baru dan Terbarukan (EBT), jauh dari target nasional[3].

Sebagai upaya menanggulangi perubahan iklim dan menurunkan emisi GRK, Pemerintah Indonesia telah menegaskan kembali komitmennya dalam pengurangan emisi sebesar 29% secara mandiri dan hingga 41% dengan bantuan internasional pada tahun 2030, sebagaimana tercantum dalam Undang-Undang No. 16 Tahun 2016 yang meratifikasi Paris Agreement. PT PLN (Persero) mendukung komitmen ini melalui Rencana Usaha Penyediaan Tenaga Listrik (RUPTL) 2021–2030 dengan prioritas pengembangan EBT, termasuk tambahan kapasitas pembangkit EBT sebesar 10,6 GW hingga 2025 dan 18,8 GW hingga 2030[4]. Langkah ini sejalan dengan target bauran energi nasional sebesar 23% EBT pada tahun 2025[5].

Salah satu solusi yang mulai dikembangkan adalah sistem pembangkit listrik hibrida, khususnya integrasi Photovoltaic (PV) dan energi gelombang laut. Beberapa penelitian telah mengusulkan pendekatan ini untuk daerah kepulauan, karena kombinasi dua sumber energi ini sangat sesuai dengan kondisi geografis wilayah tersebut[6]. Penelitian ini mencoba mengkaji penerapan sistem hibrida PV dan gelombang laut di Pulau Pasi, Kecamatan Bontoharu, Kabupaten Kepulauan Selayar—daerah yang tergolong terpencil namun memiliki potensi wisata dan ekonomi lokal yang sedang berkembang. Wilayah ini belum sepenuhnya merasakan pemerataan akses listrik, meskipun memiliki potensi radiasi matahari yang tinggi dan dikelilingi laut terbuka, menjadikannya lokasi strategis untuk implementasi sistem hibrida. Dalam penelitian ini, sistem pembangkit energi hibrida dirancang untuk mengintegrasikan potensi energi matahari dan gelombang laut, kemudian dianalisis efisiensinya baik dari sisi teknis (ketersediaan dan produksi energi) maupun dari sisi ekonomi menggunakan metode Elephant Herding Optimization (EHO). Diharapkan pendekatan ini dapat memberikan kontribusi terhadap pengembangan energi berkelanjutan di wilayah kepulauan, serta menjadi model yang dapat direplikasi di daerah serupa lainnya di Indonesia.

2. METODE PENELITIAN

2.1 Jenis Penelitian

Jenis penelitian yang akan dilaksanakan merupakan penelitian eksperimental menggunakan metode simulasi dan analisis. Yaitu data yang telah di peroleh diolah/disimulasikan dengan menggunakan metode EHO pada MATLAB.

2.2 Perancangan Penelitian

Dalam perancangan sistem hibrida energi solar dan gelombang ini terdapat beberapa proses pengambilan data. Pada proses pengambilan data dilakukan identifikasi lokasi dan pengambilan data beban untuk mengetahui berapa daya yang dibutuhkan untuk memenuhi permintaan beban, data ini diperoleh langsung dari data PT. PLN (Persero) di Kepulauan Selayar. selain data beban, data potensi energi hibrida (surya dan gelombang laut) dan data dari komponen yang akan digunakan dalam sistem ini juga diperlukan.

2.3 Elephant Herding Optimization (EHO)

Elephant herding Optimization (EHO) adalah algoritma optimasi metaheuristic yang terinspirasi dari alam berdasarkan perilaku menggiring gajah. EHO menggunakan operator klan untuk memperbarui jarak gajah di setiap klan sehubungan dengan posisi gajah matriark[7]. Keunggulan metode EHO untuk beberapa algoritma metaheuristik yang canggih telah ditunjukkan untuk banyak masalah benchmark dan di berbagai area aplikasi[8]. Tahapan dalam pemecahan optimasi menggunakan EHO sebagai berikut [9]:

1. Clan updating operator

Menurut kebiasaan alami gajah, matriach memimpin gajah *ci*. gajah j di klan *ci* dapat dihitung dengan persamaan:

$$x_{new,ci,j} = x_{ci,j} + a\ x\ \left(x_{best,ci} - x_{ci,j}\right) x\ r \quad (1)$$

Dimana $x_{new,ci,j}$ dan $x_{ci,j}$ masing-masing menunjukkan posisi baru dan lama untuk gajah *j* dalam matriacrh *ci*. $x_{best,ci}$ adalah matriacrh *ci* yang mewakili gajah terbaik di klan. $a \in [0,1]$ menunjukkan faktor skala, $r \in [0,1]$. Gajah terbaik dapat dihitung dengan Persamaan (13) untuk setiap klan.

$$x_{new,ci,j} = \beta\ X\ x_{center,ci} \quad (2)$$

Dimana $\beta \in [0,1]$ merupakan faktor yang menentukan pengaruh $x_{center,ci}$ pada $x_{new,ci,j}$. $x_{new,ci,j}$ adalah individu baru. $x_{center,ci}$ adalah individu tengah dari klan *ci*. untuk dimensi *d-th* ini dapat dihitung dengan persamaan :

$$x_{center,ci,d} = \frac{1}{n_{ci}} x\ \sum_{j=1}^{n_{ci}} x_{ci,j,d} \quad (3)$$

dimana 1≤d≤D menunjukkan dimensi ke-d, dan D adalah dimensi totalnya. n_{ci} adalah jumlah gajah dalam clan ci. $x_{ci,j,d}$ adalah ke-d dari individu gajah $x_{ci,j}$. Pusat klan *ci*, $x_{center,ci,}$dapat dihitung melalui perhitungan D dengan Persamaan. (3).

2. Separaing operator

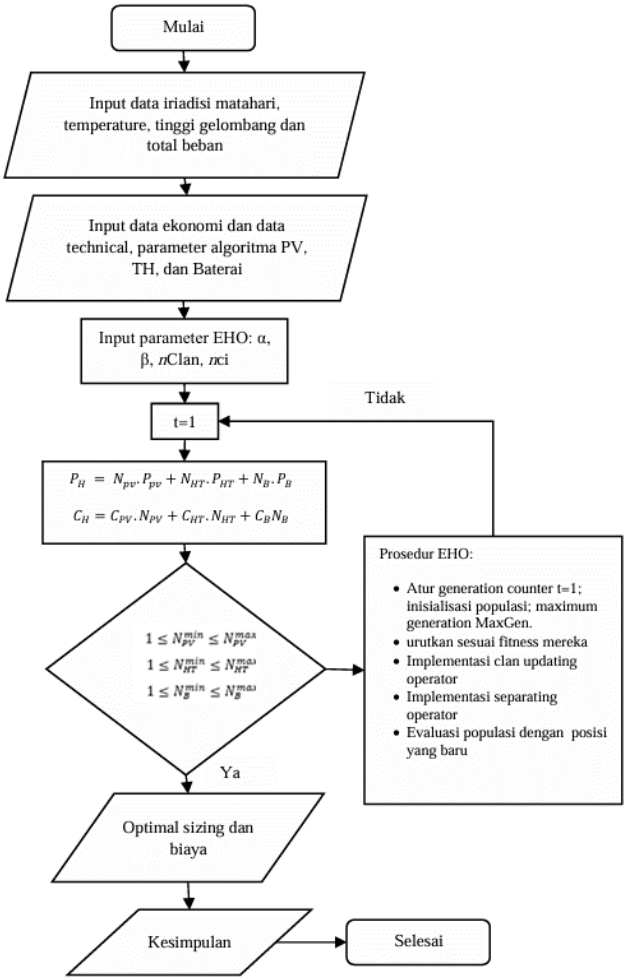
Dalam kelompok gajah, gajah jantan akan meninggalkan kelompok keluarganya dan hidup sendiri ketika mencapai masa pubertas. Proses pemisahan ini dapat dimodelkan menjadi operator pemisah ketika menyelesaikan masalah optimasi. Untuk lebih meningkatkan kemampuan pencarian metode EHO, diasumsikan bahwa individu gajah dengan kondisi terburuk akan menerapkan operator pemisah pada setiap generasi seperti yang ditunjukkan pada persamaan :

$$x_{worst,ci} = x_{min} + (x_{max} + x_{min} + 1)\ rand \quad (4)$$

Dimana x_{max} dan x_{min} masing-masing adalah batas atas dan bawah dari posisi individu gajah. $x_{worst,ci}$ adalah individu gajah yang terburuk dalam klan *ci*. *Rand* ∈ [0, 1] adalah sejenis distribusi stokastik dan distribusi seragam pada rentang [0,1].

2.4 Desain Simulasi Pada MATLAB

Langkah-langkah simulasi algoritma EHO pada MATLAB dapat dilihat pada flowchart dibawah ini:



Gambar 2.1 Flowchart Simulasi EHO pada MATLAB

2.5 Fungsi Objektif

Pada penelitian ini terdapat dua fungsi objektif atau biasa disebut dengan *multi-objective,* yaitu memaksimalkan daya yang dihasilkan dari pembangkit hybrid dan meminimumkan biaya dengan variable bebasnya yaitu N_{pv}, N_{WT}, N_B. Fungsi tujuan ini dapat dipresentasekan sebagai berikut [10]

$$P_H = N_{pv}.P_{pv} + N_{WT}.P_{WT} + N_B.P_B \quad (5)$$

$$C_H = C_{PV}.N_{PV} + C_{WT}.N_{WT} + C_B N_B \quad (6)$$

Dimana P_H adalah daya dari *combine* (gabungan) pembangkit dari panel surya dan wind turbine, N_{WT} adalah jumlah wind Turbine, P_{WT} adalah jumlah daya yang dihasilkan wind turbine, N_{PV} adalah jumlah panel surya, P_{PV} adalah jumlah daya yang dihasilkan panel surya, N_B adalah jumlah baterai, P_B adalah jumlah daya yang dihasilkan baterai, C_H adalah harga dari pembangkit hibrida, C_{PV} adalah harga dari panel surya dan C_{WT} adalah harga dari wind turbine.

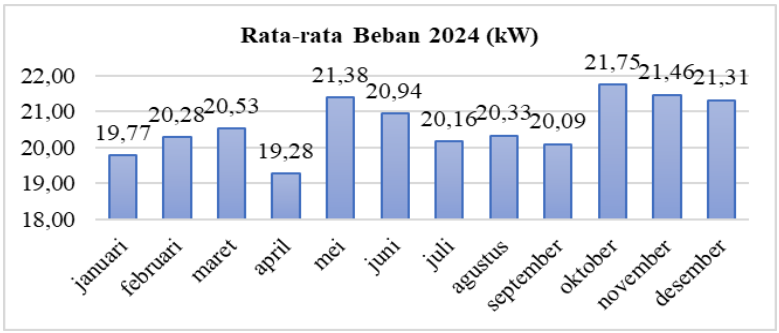
2.6 Batasan

Berdasarkan fungsi objektif, batasan (kendala) dalam penelitian ini adalah jumlah setiap komponen harus berada diantara batas-batas tertentu. Pada penelitian ini ditetapkan jumlah minimum untuk semua komponen sebesar 1 unit dan jumlah maksimum PV di set pada nilai 3000 unit, ocean wave 5 unit dan baterai 200 unit.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1 Data Beban

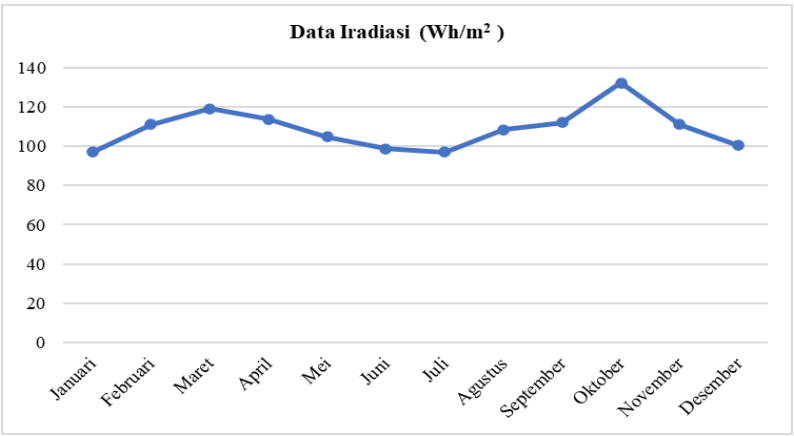
Dari data yang berasal dari PLN ULP Selayar, daerah ini hanya dilayani oleh sebuahgardu yakni gardu dummy_pasi dengan kode APKT GD327500243 dengan kapasitas 200 KVA. Dan dengan melihat permintaan beban pada gambar 9, maka dikhawatirkan bahwa gardu tersebut tidak dapat melayani permintaan beban secara menyeluruh. Oleh karena itu energi terbarukan dalam hal ini energi matahari dan energi gelombang laut dapat menjadi solusi sebagai sumber pembangkit energi listrik di daerah tersebut.



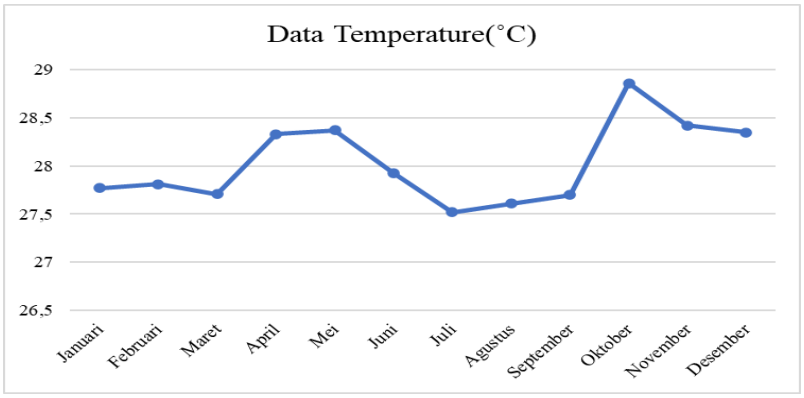
Gambar 3.1 Data Profil Beban Tahun 2024

3.2 Potensi Energi fotovoltaik

Data potensi energi matahari untuk wilayah penelitian diambil dari website NASA. Data yang diambil ini berupa data radiasi matahari perharinya yang dirata-ratakan dalam perbulan. Rata-rata iradiasi matahari pada Gambar 3.2 dan temperature pada Gambar 3.3 di wilayah Pulau Pasi pada tahun 2021 adalah sebesar 108,7708 Wh/m^2 dengan rata-rata temperature 28,05 ˚C. Dimana iradiasi terbesar terdapat pada bulan oktober dengan nilai 132,23 Wh/m^2 dengan temperature sebesar 28,86 ˚C dan radiasi terkecil terdapat pada juli dengan nilai 97,08 Wh/m2 dengan temperature 27,52 ˚C.



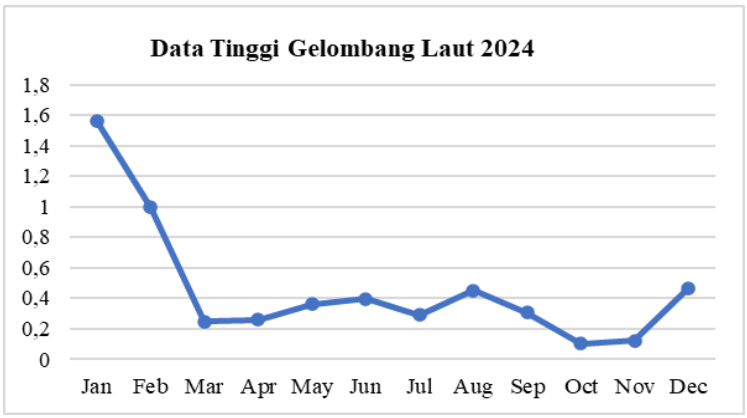
Gambar 3.2 Data Iradiasi Matahari Tahun 2024



Gambar 3.3 Data Temperatur Tahun 2024

3.3 Potensi Energi Gelombang Laut

Potensi gelombang laut diambil dari website *ERA5 hourly data on single levels*. Data yang diambil adalah data gelombang laut di sepanjang tahun 2024. Rata-rata potensi gelombang laut ditahun 2024 adalah sebesar 0,46 m dengan gelombang laut tertinggi terdapat pada bulan januari 2024 yaitu sebesar 1,56 m. Berikut adalah gambar grafik gelombang laut tahun 2024.

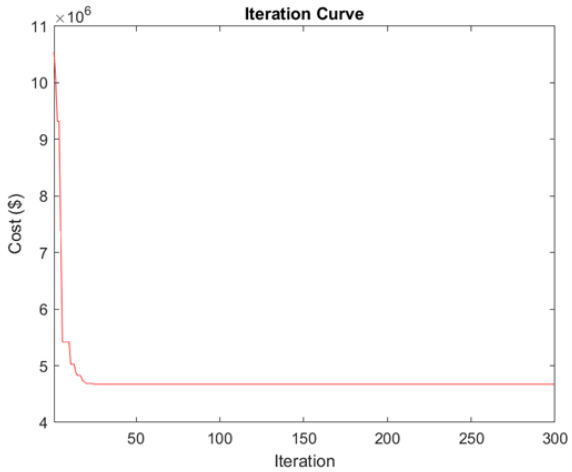


Gambar 3.4 Data Tinggi Gelombang Laut Tahun 2024

3.4 Hasil Simulasi

Berdasarkan data temperature, irradiasi dan tinggi gelombang, maka didapatkan daya yang dihasilkan oleh panel surya dan daya pada ocean wave. Selanjutnya komputasi menggunakan EHO digunakan untuk mencari kombinasi yang optimal antara panel surya dan gelombang laut sehingga didapatkan solusi optimal berdasarkan potensi energi yang bisa dihasilkan berdasarkan fungsi objektif dengan batasan (constraint) yang ditentukan. Constraint memiliki peranan penting untuk mendapatkan hasil yang optimal. Batasan nilai maksimum dan minimum ditentukan berdasarkan lokasi (sitting) dari sumber EBT dan potensi energi yang akan dihasilkan.

Berikut ini adalah grafik konvergensi, dimana EHO mengkonversi nilai fitness sebagai biaya (cost) terhadap PV dan ocean wave berdasarkan data pada lokasi penelitian seperti yang ditunjukkan pada gambar 9 yang menunjukkan bahwa konvergensi didapatkan pada iterasi 26.



Gambar 3.5 Kurva Konvergensi

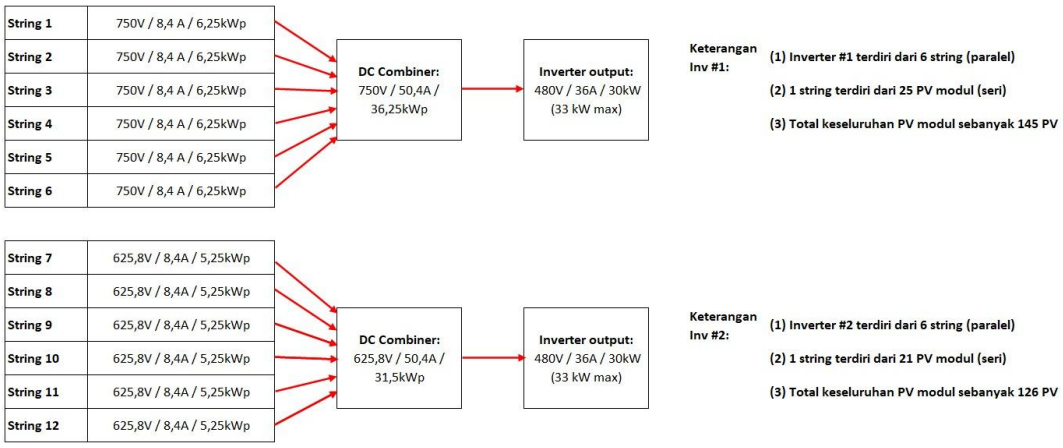
a. Optimal sizing panel surya dan ocean wave menggunakan EHO
Hasil yang didapatkan untuk optimal sizing dalam simulasi menggunakan EHO ini adalah:

Tabel 3.1 Optimal Sizing Menggunakan EHO

Pembangkit	N_{PV}	N_{OC}	N_B	Energi (kWh/tahun)
Hibrida	271	1	102	300.002

Dari Tabel 3.1 diatas diketahui bahwa jumlah optimal PV adalah sebanyak 271, jumlah pembangkit gelombang laut adalah 1, dan untuk jumlah baterai adalah 102 dengan energi maksimum yang dihasilkan sebesar 300.002 kWh/tahun.

Adapun untuk konfigurasi PV dari hasil simulasi dapat digambarkan sebagai berikut:



Gambar 3.6 Konfigurasi PV

PV yang digunakan sebanyak 271 dengan 2 inverter, dimana pada inverter 1 terdiri dari 145 PV dengan 25 PV yang disusun seri dan 120 disusun parallel. Untuk inverter 2 terdiri dari 126 PV dengan 21 PV yang susun seri dan 125 PV yang disusun parallel.

b. Biaya pembangkit menggunakan EHO
Berdasarkan Tabel spesifikasi dan harga dari tiap komponen maka biaya yang dibutuhkan berdasarkan hasil optimal sizing menggunakan algoritma EHO adalah:

Tabel 3.2 Biaya Pembangkit Menggunakan EHO

Pembangkit	NPC (Rp.)	COE (Rp./kWh)
Hibrida	5.336.159.983	1.852

Dari Tabel 3.2 diatas dapat dilihat bahwa untuk biaya pembangkit Hibrida menggunakan EHO diperoleh NPC sebesar Rp. 5.336.159.983 dan untuk COE sebesar Rp. 1.852/kWh.

4. KESIMPULAN DAN SARAN

4.1 Kesimpulan

Penelitian ini menunjukkan bahwa sistem pembangkit listrik hibrida yang terdiri dari panel surya (PV) dan pembangkit gelombang laut dapat diterapkan secara efektif di Pulau Pasi, Kecamatan Bontoharu, Kabupaten Kepulauan Selayar. Lokasi ini memiliki potensi radiasi matahari yang tinggi dan kondisi laut yang mendukung, sehingga sesuai untuk penerapan sistem energi terbarukan. Melalui simulasi menggunakan metode Elephant Herding Optimization (EHO), diperoleh konfigurasi optimal sebanyak 271 unit panel surya, 1 unit pembangkit gelombang laut, dan 102 unit baterai, dengan total energi yang dihasilkan mencapai 300.002 kWh per tahun. Biaya investasi (NPC) sistem ini sebesar Rp 5.336.159.983 dengan biaya energi (COE) sebesar Rp 1.852/kWh. Hasil ini menunjukkan bahwa sistem hibrida tidak hanya layak dari sisi teknis, tetapi juga efisien dari sisi ekonomi. Secara keseluruhan, penelitian ini membuktikan bahwa pendekatan optimasi dalam perencanaan sistem energi terbarukan dapat memberikan solusi nyata untuk pengembangan energi berkelanjutan di wilayah terpencil, khususnya daerah kepulauan di Indonesia.

4.2 Saran

Untuk pengembangan lebih lanjut, disarankan agar penelitian ini menggunakan data cuaca dan beban yang lebih rinci dan real-time agar simulasi yang dilakukan semakin akurat. Selain itu, uji coba di lapangan sangat penting untuk mengevaluasi performa sistem secara langsung dan mengetahui kendala teknis yang mungkin terjadi. Pemerintah daerah dan instansi terkait diharapkan mendukung penerapan energi terbarukan seperti ini melalui penyusunan kebijakan dan program pendanaan berbasis energi hijau, khususnya untuk daerah-daerah terpencil yang belum sepenuhnya terjangkau listrik. Di sisi lain, algoritma optimasi lain seperti Particle Swarm Optimization (PSO), Genetic Algorithm (GA), atau kombinasi beberapa metode dapat dijadikan perbandingan untuk memperoleh hasil yang lebih optimal dalam desain sistem pembangkit energi terbarukan.

DAFTAR PUSTAKA

[1] Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral Republik Indonesia, “Konsumsi Listrik Masyarakat Meningkat Tahun 2023 Capai 1.285 kWh/kapita,” esdm.go.id. [Online]. Available: https://www.esdm.go.id/id/media-center/arsip-berita/konsumsi-listrik-masyarakat-meningkat-tahun-2023-capai-1285-kwh-kapita

[2] Kementerian Energi Dan Sumber Daya Mineral, “RUPTL 2021–2030 Diterbitkan, Porsi EBT Diperbesar,” Direktorat Jenderal Ketenagalistrikan. [Online]. Available: https://www.esdm.go.id/id/berita-unit/direktorat-jenderal-ketenagalistrikan/ruptl-2021-2030-diterbitkan-porsi-ebt-diperbesar-1

[3] PT. PLN (PERSERO), “Punya 8,5 GW Pembangkit EBT, PLN Siap Penuhi Kebutuhan Listrik Sektor Bisnis dan Industri,” web.pln.co.id. [Online]. Available: https://web.pln.co.id/cms/media/2022/10/punya-85-gw-pembangkit-ebt-pln-siap-penuhi-kebutuhan-listrik-sektor-bisnis-dan-industri

[4] PT. PLN (PERSERO), “PLN Siap Bangun Pembangkit EBT 10,6 GW hingga 2025,” web.pln.co.id. [Online]. Available: https://web.pln.co.id/cms/media/siaran-pers/2021/12/pln-siap-bangun-pembangkit-ebt-10-6-gw-hingga-2025

[5] PT. PLN (PERSERO), “Tingkatkan Bauran EBT hingga 2034, PLN Siap Jalankan RUPTL Terhijau Sepanjang Sejarah,” web.pln.co.id. [Online]. Available: https://web.pln.co.id/cms/media/siaran-pers/2025/05/tingkatkan-bauran-ebt-hingga-2034-pln-siap-jalankan-ruptl-terhijau-sepanjang-sejarah

[6] . V., “RENEWABLE ENERGY-BASED MICROGRID POWER MANAGEMENT SYSTEM,” *Int. J. Electr. POWER ENERGY Syst.*, vol. 2, no. 1, pp. 1–23, Mar. 2025, doi: 10.34218/IJEPES_02_01_001.

[7] J. Li, H. Lei, A. H. Alavi, and G.-G. Wang, “Elephant Herding Optimization: Variants, Hybrids, and Applications,” *Mathematics*, vol. 8, no. 9, p. 1415, Aug. 2020, doi: 10.3390/math8091415.

[8] H. Xu *et al.*, “Application of Elephant Herd Optimization Algorithm Based on Levy Flight Strategy in Intrusion Detection,” in *2018 IEEE 4th International Symposium on Wireless Systems within the International Conferences on Intelligent Data Acquisition and Advanced Computing Systems (IDAACS-SWS)*, IEEE, Sep. 2018, pp. 16–20. doi: 10.1109/IDAACS-SWS.2018.8525848.

[9] V. Chouhan and R. Thakur, “Optimization of DG with Enhanced Elephant Herding Optimization in Distribution Network,” in *2023 International Conference on Computing, Communication, and Intelligent Systems (ICCCIS)*, IEEE, Nov. 2023, pp. 817–822. doi:

10.1109/ICCCIS60361.2023.10425714.
[10] A. Traoré, H. Elgothamy, and M. A. Zohdy, “Optimal Sizing of Solar/Wind Hybrid Off-Grid Microgrids Using an Enhanced Genetic Algorithm,” *J. Power Energy Eng.*, vol. 06, no. 05, pp. 64–77, 2018, doi: 10.4236/jpee.2018.65004.