

**DESAIN OPTIMASI SISTEM PEMBANGKIT HIBRIDA
BERBASIS TENAGA SURYA DAN GELOMBANG LAUT
SEBAGAI SUMBER ENERGI ALTERNATIF**

*Optimization Design of a Hybrid Generation System Using Solar
Power and Ocean Wave as Alternative Energy*

**ANNISA NURFADHILAH
D032 21 1 025**



**PROGRAM STUDI MAGISTER TEKNIK ELEKTRO
DEPARTEMEN TEKNIK ELEKTRO
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS HASANUDDIN
GOWA
2023**



Optimized using
trial version
www.balesio.com

PENGAJUAN TESIS

**DESAIN OPTIMASI SISTEM PEMBANGKIT HIBRIDA
BERBASIS TENAGA SURYA DAN GELOMBANG LAUT
SEBAGAI SUMBER ENERGI ALTERNATIF**

Tesis

Sebagai Salah Satu Syarat untuk Mencapai Gelar Magister

Program Studi Ilmu Teknik Elektro

Disusun dan diajukan oleh

ANNISA NURFADHILAH

D032211025

Kepada

FAKULTAS TEKNIK

UNIVERSITAS HASANUDDIN

GOWA

2023



TESIS
DESAIN OPTIMASI SISTEM PEMBANGKIT
HIBRIDA BERBASIS TENAGA SURYA DAN
GELOMBANG LAUT SEBAGAI SUMBER ENERGI
ALTERNATIF

ANNISA NURFADHILAH
D032 211 025

Telah dipertahankan di hadapan Panitia Ujian Tesis yang dibentuk dalam rangka
penyelesaian studi pada Program Magister Teknik Elektro, Fakultas Teknik

Universitas Hasanuddin
pada tanggal 25 September 2023
dan dinyatakan telah memenuhi syarat kelulusan

Menyetujui,

Pembimbing Utama



Prof. Dr. Indar Chaerah Gunadin, S.T, M.T
NIP. 197311181998032001

Pembimbing Pendamping



Prof. Dr. Eng. Ir. Syafaruddin, S.T, M.Eng., IPU
NIP. 197405301999031003

Dekan Fakultas Teknik
Universitas Hasanuddin



g. Ir. Muhammad Isran Ramli, S.T., M.T. IPM
NIP. 19730926 2000 121 002

Ketua Program Studi
S2 Teknik Elektro



Dr. Eng. Ir. Wardi, S.T., M.Eng
NIP. 19720828 199903 1 003



PERNYATAAN KEASLIAN TESIS DAN PELIMPAHAN HAK CIPTA

Yang bertanda tangan dibawah ini :

Nama : Annisa Nurfadhilah

Nomor Pokok Mahasiswa : D032211025

Program Studi : Teknik Elektro

Dengan ini saya menyatakan bahwa, tesis berjudul “Desain optimasi sistem pembangkit hibrida berbasis tenaga surya dan gelombang laut sebagai sumber energi alternatif” adalah benar karya saya dengan arahan dari komisi pembimbing (Prof. Dr. Indar Chaerah Gunadin, S.T., M.T. sebagai pembimbing utama dan Prof. Dr. Eng.Ir. Syafaruddin, S.T., M.Eng., IPU sebagai pembimbing pendamping). Karya ini belum diajukan dan tidak sedang diajukan dalam bentuk apapun kepada perguruan tinggi manapun. Sumber informasi yang berasal atau dikutip dari karya yang diterbitkan maupun tidak diterbitkan dari penulis lain telah disebutkan dalam teks dan dicantumkan dalam daftar Pustaka pada tesis ini. Sebagian dari isi tesis ini telah dipublikasikan di *The 18th IMT-GT International Conference on Mathematics, Statistics and their Applications*.

Dengan ini saya melimpahkan hak cipta dari karya tulis saya berupa tesis ini kepada Universitas Hasanuddin.

Gowa, Oktober 2023

Yang Menyatakan,



Annisa Nurfadhilah



KATA PENGANTAR

Puji dan syukur kehadiran Tuhan Yang Maha Esa atas berkat rahmat serta kasih-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan tesis ini. Penulis menyadari bahwa tesis ini masih jauh dari kesempurnaan, oleh sebab itu penulis mengharapkan kritik dan saran yang bersifat membangun dari semua pihak demi kesempurnaan tesis ini.

Terselesaikannya tesis ini tidak terlepas dari bantuan banyak pihak, sehingga pada kesempatan ini dengan segala kerendahan hati dan penuh rasa hormat penulis menghaturkan terima kasih yang sebesar-besarnya bagi semua pihak yang telah memberikan bantuan moril maupun materil baik langsung maupun tidak langsung dalam penyusunan tesis ini hingga selesai, utamanya dosen pembimbing tesis serta para penguji dan semua dosen dan staf administrasi program Magister Teknik Elektro. Tak lupa pula saya ucapkan terima kasih kepada teman-teman S2 Teknik Elektro 2021.

Akhir kata peneliti menyadari sepenuhnya bahwa tesis ini jauh dari kesempurnaan, akan tetapi sedikit harapan semoga tesis ini dapat berguna dan bermanfaat bagi kita semua.

Gowa, Oktober 2023

Penulis



ABSTRAK

ANNISA NURFADHILAH. Desain Optimasi Sistem Pembangkit Hibrida Berbasis Tenaga Surya dan Gelombang Laut Sebagai Sumber Energi Alternatif (dibimbing oleh **Indar Chaerah Gunadin** dan **Syafaruddin**)

Kebutuhan listrik masyarakat saat ini semakin hari semakin tinggi. Di Indonesia untuk tahun 2018 kebutuhan listrik di Indonesia sebesar 1,06 MWh per kapita. Pada tahun 2019 kebutuhan listrik sebesar 1,08 MWh per kapita, dan pada tahun 2020 kebutuhan listrik menjadi 1,09 MWh per kapita. Sementara pembangkit listrik di Indonesia masih didominasi oleh pembangkit berbahan bakar fosil. Sebagai salah satu alternatif untuk memaksimalkan pembangkit energi, kami mengusulkan sistem pembangkit hibrida dari energi terbarukan PV-Gelombang Laut yang terhubung ke jaringan untuk mengatasi masalah lingkungan yang terkait dengan produksi energi global. Lokasi penelitian terletak di Kahu-Kahu, Bontoharu, Kabupaten Kepulauan Selayar. Penelitian ini menunjukkan desain pembangkit listrik hybrid yang optimal dari segi ekonomi dan energi yang dihasilkan menggunakan algoritma EHO (*Elephant Herding Optimization*). Hasil penelitian menunjukkan bahwa nilai terbaik untuk pembangkit hibrida antara PV dan energi gelombang laut yaitu jumlah PV adalah 271 dan turbin hidrokinetik yang digunakan adalah 1 dengan jumlah baterai 102. Sedangkan dari segi ekonomi yaitu untuk nilai NPC adalah Rp. 5.336.159.983 dan COE sebesar Rp. 1.852/kWh.

Kata kunci : energi terbarukan, sistem pembangkit hibrida, *Elephant Herding Optimization*, MATLAB



ABSTRACT

ANNISA NURFADHILAH. *Optimization Design of Solar and Wave-based Hybrid Power Plant System as an Alternative Energy Source* (supervised by **Indar Chaerah Gunadin** and **Syafaruddin**)

The demand for electricity in today's society is getting higher and higher. In Indonesia for 2018 the electricity demand in Indonesia amounted to 1.06 MWh per capita. In 2019 the electricity demand was 1.08 MWh per capita, and in 2020 the electricity demand was 1.09 MWh per capita. While power plants in Indonesia are still dominated by fossil fuel plants. As one of the alternatives to maximize energy generation, we propose a hybrid generation system of grid-connected PV-Ocean Wave renewable energy to address environmental issues associated with global energy production. The research site is located in Kahu-Kahu, Bontoharu, Selayar Islands Regency. This research shows the optimal hybrid power plant design in terms of economy and energy produced using the EHO (Elephant Herding Optimization) algorithm. The results showed that the best value for hybrid power plants between PV and ocean wave energy is the number of PVs is 271 and the hydrokinetic turbine used is 1 with the number of batteries 102. While in terms of economics, the NPC value is Rp. 5,336,159,983 and COE is Rp. 1,852/kWh.

Keywords: *renewable energy, hybrid generation system, Elephant Herding Optimization, MATLAB*



DAFTAR ISI

ABSTRAK	vi
ABSTRACT	vii
DAFTAR ISI	viii
DAFTAR GAMBAR	xi
DAFTAR TABEL	xii
DAFTAR LAMPIRAN	xiii
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	2
1.3 Tujuan Penelitian	3
1.4 Manfaat Penelitian	3
1.5 Batasan Masalah	3
1.6 <i>State-of-The-Art</i>	3
1.7 <i>Novelty</i> dan Kontribusi	7
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	8
2.1 Optimasi Sistem Kelistrikan	8
2.2 Pembangkit Listrik Tenaga Surya	8
2.2.1 Sel surya	8
2.2.2 Proses reaksi sel surya pada efek fotovoltaiik	9
2.2.3 Komponen utama PLTS	10
. Potensi energi surya di Indonesia	12
Energi Gelombang Laut	13
. Proses gelombang laut	13



2.2.2 Oscillating water column	14
2.2.3 Potensi energi gelombang laut	15
2.3 Pembangkit listrik Tenaga Hibrida	16
2.4 Daya Dihasilkan Oleh Pembangkit	17
2.5 Analisis Ekonomi Optimal	18
2.6 Fungsi Objektif	19
2.7 Batasan (Constrain)	19
2.8 <i>Elephant Herding Optimization (EHO)</i>	20
BAB III METODE PENELITIAN	24
3.1 Jenis Penelitian	24
3.2 Lokasi Penelitian	24
3.3 Perancangan Penelitian	25
3.4 Tahapan Penelitian	25
3.5 Konfigurasi Sistem	27
3.6 Mekanisme Kerja Sistem	27
3.7 Skenario Pengetesan	28
3.8 Desain Simulasi Pada MATLAB	28
3.9 Komponen Pembangkit dan Penyimpanan dalam Penelitian	30
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN	33
4.1 Data Sistem	33
4.1.1 Data jumlah dan mata pencaharian penduduk di Kabupaten Kep. Selayar	33
4.1.2 Data pelanggan	34
4.1.3 Potensi Energi Fotovoltaik	35
4.1.4 Potensi Energi Gelombang Laut	36



4.2	Hasil Simulasi	37
4.2.1	Hasil simulasi menggunakan elephant herding optimization	37
4.2.2	Hasil simulasi menggunakan particle swarm optimization	39
4.2.3	Hasil simulasi menggunakan HOMER	41
4.2.4	Perbandingan hasil simulasi EHO, PSO dan HOMER	43
4.3	Keandalan	44
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN		46
5.1	Kesimpulan	46
5.2	Saran	46
DAFTAR PUSTAKA		47
LAMPIRAN		49



DAFTAR GAMBAR

Gambar 1 Efek Fotovoltaik	10
Gambar 2 Proses Konversi Energi Gelombang Laut	15
Gambar 3 Blok Diagram PLTH	16
Gambar 4 Diagram Alir Algoritma EHO	23
Gambar 5 Lokasi Penelitian	24
Gambar 6 Flow Chart Penelitian	26
Gambar 7 Konfigurasi Sistem	27
Gambar 8 Flowchart Simulasi EHO pada MATLAB	29
Gambar 9 Data Profil Beban Tahun 2021	35
Gambar 10 Grafik Tinggi Gelombang Laut Tahun 2021	36
Gambar 11 Kurva Konvergensi	37
Gambar 12 Neraca Daya	39
Gambar 13 Skematik HOMER	41
Gambar 14 Produksi Energi Menggunakan HOMER	42



DAFTAR TABEL

Tabel 1 State-of -The-Art	4
Tabel 2 Spesifikasi Panel Surya	30
Tabel 3 Spesifikasi Turbin Hidrokinetik	31
Tabel 4 Spesifikasi Baterai	31
Tabel 5 Spesifikasi Inverter	32
Tabel 6 Jumlah Penduduk di Kepulauan Selayar	33
Tabel 7 Mata Pencaharian di Kepulauan Selayar	34
Tabel 8 Data Radiasi Matahari Tahun 2021	35
Tabel 9 Data Temperature Tahun 2021	36
Tabel 10 Optimal Sizing Menggunakan EHO	38
Tabel 11 Biaya Pembangkit Menggunakan EHO	39
Tabel 13 Optimal Sizing Menggunakan PSO	40
Tabel 14 Biaya Pembangkit Menggunakan PSO	41
Tabel 15 Optimal Sizing Menggunakan HOMER	42
Tabel 16 Biaya Pembangkit Menggunakan HOMER	43
Tabel 17 Perbandingan EHO, PSO dan HOMER	43
Tabel 18 Nilai LPSP dan Total Cost	45



DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1 Data Beban (kW)	49
Lampiran 2 Data Iradiasi (Wh/m ²)	67
Lampiran 3 Data Temperatur (°C)	88
Lampiran 4 Data Tinggi Gelombang (m)	109
Lampiran 5 Program EHO pada MATLAB	130
Lampiran 6 Hasil Simulasi EHO pada MATLAB	133
Lampiran 7 Program PSO pada MATLAB	133
Lampiran 8 Hasil Simulasi PSO pada MATLAB	137



BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Seperti yang diketahui bahwa kebutuhan listrik masyarakat semakin hari semakin tinggi. Di Indonesia untuk tahun 2018 kebutuhan listrik di Indonesia sebesar 1,06 MWh per kapita. Pada tahun 2019 kebutuhan listrik sebesar 1,08 MWh per kapita, dan pada tahun 2020 kebutuhan listrik menjadi 1,09 MWh per kapita. Sementara pembangkit listrik di Indonesia masih didominasi oleh pembangkit berbahan bakar fosil. Hingga tahun 2018, kapasitas pembangkit listrik di Indonesia sebesar 64,5 GW, meningkat 3% dari tahun 2017. Hal ini menjadi salah satu penyebab meningkatnya emisi gas di Indonesia. Untuk mengatasi masalah tersebut, PLN dan pemerintah mengeluarkan kebijakan pengurangan gas rumah kaca dengan mengutamakan pengembangan energi terbarukan.

PLN melalui Rencana Usaha Penyediaan Tenaga Listrik (RUPTL) mendukung pemerintah agar pada tahun 2030 emisi gas rumah kaca turun menjadi 29% seperti yang dituangkan dalam UU No. 16 Tahun 2016 tentang *Paris Agreement on the United Nations Framework Convention on Climate Change*, dimana subsektor ketenagalistrikan merupakan bagian dari komitmen nasional. Kebijakan PLN untuk menurunkan GRK, salah satunya dengan memprioritaskan pengembangan Energi Baru dan Terbarukan, hal ini juga sebagai upaya pemenuhan kebijakan pemerintah terkait target bauran energi minimal 23% EBT pada tahun 2025, dimana PLN memproyeksikan akan ada tambahan akumulasi pembangkit EBT sebesar 10,6 GW hingga 2025 dan 18,8 GW hingga 2029. Peningkatan ini merupakan salah satu langkah PLN menuju nol emisi.

Ada beberapa penelitian yang membahas mengenai sistem hibrida dari PV dan gelombang laut, salah satunya penelitian [1], dimana pada penelitian ini untuk



akan masalah lingkungan yang terkait dengan produksi energi global, ini bermaksud untuk memberikan pemodelan, kontrol, dan simulasi gelombang laut dan sistem pembangkit listrik terbarukan PV untuk

masyarakat pulau. Maka tulisan ini juga mencoba menerapkannya pada Pulau Pasi, Bontoharu dengan menggunakan metode yang berbeda, mengingat distribusi listrik di daerah tersebut masih perlu ditingkatkan terutama di daerah yang jauh dari pusat ibu kota pulau. Namun berbeda dengan makalah [1], dalam penelitian ini akan menunjukkan bagaimana mengoptimalkan sistem hibrida antara energi gelombang laut dan PV dari sudut pandang ekonomi dan produksi energi.

Kabupaten Kepulauan Selayar, khususnya di Pulau Pasi, Bontoharu merupakan salah satu daerah pariwisata yang ada di Kepulauan Selayar. Pulau Pasi ini juga merupakan salah satu dari beberapa daerah terpencil yang masih membutuhkan pemerataan listrik. Menyikapi hal tersebut, energi terbarukan dalam hal ini energi matahari dan gelombang laut dapat mengatasi kebutuhan pemerataan pembangunan pembangkit listrik di daerah ini. Karena wilayah tersebut merupakan salah satu daerah yang memiliki radiasi matahari yang baik dan di daerah tersebut juga dikelilingi dengan lautan yang luas, sehingga dapat menjadi objek integrasi PV dan gelombang laut. Penelitian ini dilakukan untuk menganalisa efisiensi dari pembangkit energi hibrida yang dilihat dari ketersediaan energi terbarukan, produksi energi yang dibangkitkan, serta dilihat dari efisiensi dari segi ekonomi menggunakan metode *Elephant herding Optimization (EHO)*.

1.2 Rumusan Masalah

Adapun rumusan masalah berdasarkan latar belakang diatas adalah sebagai berikut:

1. Bagaimana merancang sistem hibrida antara energi surya dan gelombang laut yang optimal, dilihat dari produksi energi dan ketersediaan sumber energi terbarukan menggunakan metode *Elephant Herding Optimization (EHO)*?
2. Bagaimana menganalisa pembangkit yang optimal dilihat dari segi ekonomi dengan menggunakan metode *Elephant Herding Optimization (EHO)*?
Bagaimana perbandingan nilai optimasi menggunakan metode *Elephant herding Optimization (EHO)*, *Particle Swarm Optimization (PSO)* dan *OMER*?



1.3 Tujuan Penelitian

Adapun tujuan penelitian ini adalah:

1. Merancang sistem hibrida antara energi surya dan gelombang laut yang optimal, dilihat dari produksi energi dan ketersediaan sumber energi terbarukan menggunakan metode *Elephant Herding Optimization (EHO)*, dimana metode ini belum pernah diterapkan dalam energi hibrida PV dan gelombang laut.
2. Menganalisa pembangkit yang dilihat dari segi ekonomi dengan menggunakan metode *Elephant Herding Optimization (EHO)*.
3. Menganalisa perbandingan nilai optimasi menggunakan metode *Elephant Herding Optimization (EHO)*, *Particle Swarm Optimization (PSO)* dan HOMER.

1.4 Manfaat Penelitian

Hasil dari penelitian ini diharapkan bermanfaat bagi para peneliti, maupun para mahasiswa untuk menjadi bahan referensi dalam keilmuannya mengenai optimasi sistem pembangkit hibrida energi terbarukan.

1.5 Batasan Masalah

Permasalahan pada penelitian ini dibatasi pada:

1. Penelitian yang dilakukan hanya untuk sistem hibrida berbasis tenaga surya dan gelombang laut di Kepulauan Selayar.
2. Simulasi dilakukan dengan menggunakan MATLAB dengan metode *Elephant Herding Optimization (EHO)*.

1.6 State-of-The-Art

Berikut ini merupakan penelitian yang terkait masalah pembangkit listrik hibrida berbasis tenaga surya dan gelombang.



Tabel 1 State-of -The-Art

No.	Judul Penelitian	Tahun	Peneliti	Tujuan	Metode	Hasil	Ref.
1.	<i>Modeling, Control, and Simulation of Battery Storage Photovoltaic-Wave Energy Hibrida Renewable Power Generation Systems for Island Electrification in Malaysia</i>	2014	Nahidul Hoque Samrat, Norhafizan Bin Ahmad, Imtiaz Ahmed Choudhury dan Zahari Bin Taha	Memberi pemodelan rinci, pengontrolan, dan simulasi sistem pembangkit listrik terbarukan hibrida gelombang laut dan PV yang dikembangkan untuk komunitas pulau sebagai solusi dalam mengatasi masalah lingkungan yang terkait dengan produksi energi global.	Penelitian ini mengusulkan energi hibrida mandiri dari sistem konversi PV dan energi gelombang dengan penyimpanan energi. Dalam sistem hibrida yang diusulkan, kontrol konverter DC-DC buck-boost (BBDC) dua arah digunakan dengan algoritma pelacakan titik daya maksimum untuk mempertahankan tegangan DC-link konstan.	1. Dari hasil simulasi terlihat bahwa pengontrol dapat mempertahankan tegangan dc-link pada nilai konstan meskipun ada variasi daya hibrida yang dihasilkan dan daya beban yang dibutuhkan. 2. Pengontrol ini tidak hanya mempertahankan tegangan dclink konstan, tetapi juga bertindak sebagai filter aktif sisi dc-link dan mengurangi osilasi torsi generator dari OWC PMSG selama variasi beban. 3. Hasil simulasi menunjukkan bahwa kinerja sistem hibrida yang diusulkan memuaskan di bawah <i>steady-state power</i> serta transien surya, gelombang, dan kondisi daya beban.	[2]



2.	<i>Multisensor Data Fusion for Parametric Evaluation and Optimization of Hibrida Solar and Wave Power Source</i>	2015	Asha Luckins dan Siddhartha P. Duttagupta	Menjelaskan secara singkat persyaratan memiliki sumber energi terbarukan hibrida yang andal untuk keberlanjutan ketahanan energi dan bagaimana parameter gelombang mempengaruhi potensi daya listrik.	Sebuah algoritma controller sederhana telah diusulkan untuk memilih sumber terbarukan sehingga efisiensi maksimum tercapai.	Potensi daya listrik untuk WECS dan sistem tenaga surya dihitung dan parameter yang mempengaruhi kinerja dipelajari. Sensor yang digunakan untuk mengukur parameter tersebut ditinjau dan berdasarkan data sensor yang tersedia, algoritma pemodelan gelombang telah diusulkan	[3]
3.	<i>Modeling of Grid Connected Battery Storage Wave Energy and PV Hibrida Renewable Power Generation</i>	2017	Shamem Ahmad dan Nahidul Hoque Samrat	Mensimulasikan sistem pembangkit listrik energi terbarukan hibrida (RE) PV-gelombang laut yang terhubung dengan jaringan dengan baterai sebagai perangkat penyimpanan energi pada Matlab/ Simulink.	Memodelkan sistem pembangkit listrik hibrida dari sumber PV-Gelombang laut serta penyimpanan baterai yang terhubung ke jaringan dengan algoritma. Penelitian ini mencoba untuk mengatur daya yang sesuai untuk memenuhi permintaan beban	Sistem dapat bekerja secara efektif dengan tegangan pembangkit listrik maksimal 650V yang persis sama dengan referensinya.	[4]



4.	<i>Integration of fuel cells into an off-grid hibrida system using wave and solar energy</i>	2021	M. Talaat, A. Elgarhy, M.H. Elkholy, M.A. Farahat	Melihat pemodelan dan kontrol dinamis yang dilakukan pada sistem energi hibrida baru yang terdiri dari fuel cells yang dapat diintegrasikan dengan baik dengan beberapa sumber energi terbarukan yang sifatnya berbeda seperti energi matahari dan gelombang, dengan bank baterai yang digunakan sebagai daya cadangan.	1. Pada penelitian ini, percobaan dilakukan pada tiga sumber energi terbarukan yang berbeda. 2. Meintegrasikan menggunakan MATLAB/Simulink. 3. Teknologi konverter buck-boost digunakan untuk meningkatkan kemampuan rangkaian untuk beradaptasi dengan perubahan ini.	1. Kontroler terbukti sangat efisien dan menunjukkan kemampuan untuk menghadapi semua perubahan yang tidak terduga. Itu berhasil menjaga tegangan sistem hibrida konstan pada 11,8 V mendekati nilai yang diinginkan 12 V, dengan efisiensi 98%. 2. Ketika beban kecil dan ketiga sumber bekerja secara efisien, hanya dua sumber beban yang digabungkan, dan sumber ketiga dihubungkan ke bank baterai untuk memberi suplai ke sistem penyimpanan. Ketika tidak ada tegangan keluaran pada satu sumber, sistem penyimpanan secara otomatis digabungkan dengan dua sumber lainnya untuk menutupi beban tanpa gangguan.	[5]
----	--	------	---	---	--	---	-----



5.	<i>FPGA control system technology for integrating the PV/wave/FC hibrida system using ANN optimized by MFO techniques</i>	2022	M.Talaat, AdelAlblawi, M.Tayseer, M.H.Elkholy	Melihat efisiensi dari <i>Field Programmable Gate Array (FPGA)</i> sebagai teknik pengontrol digital baru yang inovatif.	Dalam penelitian ini, <i>Fuel Cells (FCs)</i> secara praktis terintegrasi dengan dua sumber terbarukan (energi gelombang dan energi matahari) dengan memanfaatkan <i>Field Programmable Gate Array (FPGA)</i> sebagai teknik pengontrol digital baru yang inovatif. Untuk mengatasi masalah FPGA, algoritma <i>Moth Flame Optimization (MFO)</i> digunakan dengan Jaringan Syaraf Tiruan (JST) untuk meningkatkan akurasi operasionalnya guna menyediakan skenario kontrol peramalan yang efektif dan tepat untuk sistem hibrida yang diusulkan.	Dalam penelitian ini, semua hasil yang diperoleh berdasarkan simulasi dan data empiris yang tersedia mengkonfirmasi validitas dan respons yang tinggi dari teknik FPGA dalam integrasi RES.	[6]
----	---	------	---	--	--	---	-----



1.7 Novelty dan Kontribusi

Dari yang dilihat pada *state-of-the-Art* dapat disimpulkan bahwa berbagai penelitian telah dilakukan untuk memperlihatkan konfigurasi dari berbagai tenaga listrik berbasis HRES (*Hybrid Renewable Energi Source*) yang ditinjau dari keandalan dan ekonominya.

Penelitian ini memiliki beberapa kontribusi utama yaitu:

1. Beberapa studi yang menggunakan energi hibrida dari PV dan energi gelombang laut belum pernah menggunakan metode *Elephant Herding Optimization* (EHO).
2. Dalam penggunaan metode *Elephant Herding Optimization* (EHO) pada penelitian ini, pencapaian ukuran optimal pembangkit ditinjau dari produksi energi terbarukan berdasarkan *Renewable Fraction* maksimal dan biaya yang rendah, serta metode ini mempercepat proses komputasi.



BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Optimasi Sistem Kelistrikan

Optimasi operasi sistem tenaga listrik merupakan salah satu cara untuk mendapatkan operasi yang efisien dari sistem pembangkit. Optimasi didefinisikan sebagai suatu proses pembangkitan dengan tujuan mengoptimalkan daya pembangkitan dan meminimumkan biaya pembangkitan [7].

2.2 Pembangkit Listrik Tenaga Surya

Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) adalah sistem pembangkit listrik yang bersumber dari radiasi matahari melalui konversi sel fotovoltaik. Semakin tinggi intensitas radiasi matahari, maka semakin besar daya listrik yang dihasilkannya. Ditinjau dari cara bekerjanya, PLTS dibagi menjadi dua yaitu PLTS off-grid dan PLTS on-grid. PLTS off-grid adalah PLTS yang memanfaatkan baterai sebagai penyimpanan energi sebelum disalurkan kepada konsumen, sedangkan PLTS on-grid merupakan PLTS yang diinterkoneksi pada jaringan listrik PLN maupun jaringan lainnya (*hibrida*). Dari sisi desain, PLTS dibagi menjadi PLTS terpusat dan PLTS tersebar. Adapun dari sisi pemasangan, PLTS dibagi menjadi PLTS diatas tanah (*ground mounted*), PLTS Atap, dan PLTS terapung [8].

2.2.1 Sel surya

Dalam arti luas, energi surya atau tenaga matahari bukan hanya terdiri atas pancaran matahari langsung ke bumi, melainkan juga meliputi efek-efek matahari tidak langsung, seperti tenaga angin, tenaga air, panas laut dan bahkan termasuk biomassa yang dapat dimanfaatkan sebagai sumber energi. Berapa besar jumlah energi yang dikeluarkan oleh matahari sukar dibayangkan. Menurut salah satu perkiraan, inti sang surya yang merupakan suatu tungku termonuklir bersuhu 100 juta derajat celcius setiap detik mengonversi 5 ton materi menjadi energi yang akan ke angkasa luas sebanyak $6,41 \times 10^2 \text{ W/m}^2$ [9].

Surya fotovoltaik merupakan suatu alat yang dapat mengubah energi sinar secara langsung menjadi energi listrik. Pada dasarnya sel tersebut



merupakan suatu diode semikonduktor yang bekerja menurut suatu proses khusus yang dinamakan proses tidak seimbang (*non-equilibrium process*) dan berlandaskan efek fotovoltaiik [10]

Pada umumnya, dalam proses ini sebuah sel surya menghasilkan tegangan Antara 0,5 dan 1 volt, tergantung intensitas cahaya dan zat semikonduktor yang dipakai.

Dalam penggunaannya, sel-sel surya itu dihubungkan satu sama lain, sejajar dan atau dalam seri, tergantung dari apa yang diperlukan, untuk menghasilkan daya dengan kombinasi tegangan dan arus yang dikehendaki.

Untuk daya yang agak besar, gagasan ini menghadapi keterbatasan-keterbatasan, yang pada dasarnya berlandaskan intensitas energi yang terkandung dalam sinar surya yang rendah pada saat mencapai permukaan bumi, yang berjumlah sekitar 100 watt per m^2 . Daya guna konversi energi radiasi surya menjadi energi listrik berdasarkan efek fotovoltaiik pada saat ini sudah mencapai lebih kurang 25%. Dengan demikian maka produksi daya listrik yang maksimal dapat dihasilkan oleh sel surya berjumlah 250 watt per m^2 [10]

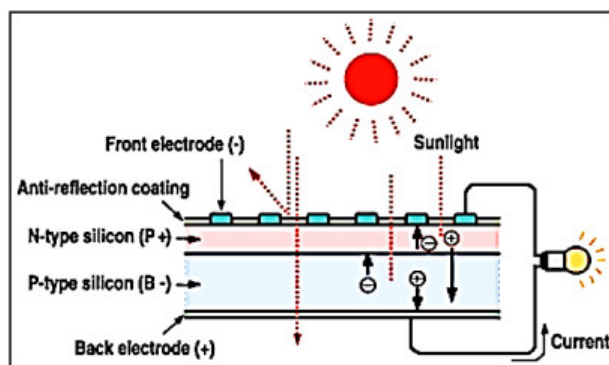
Untuk memperoleh daya sebesar 1.000 watt atau 1 kW, diperlukan luas sebanyak 4 m^2 . Untuk 1.000 kW, atau 1 MW, diperlukan 4.000 m^2 . Belum terhitung tanah bagi alat-alat pembantu dan lain sebagainya. Satu ha (10.000 m^2) akan dapat menghasilkan 2,5 MW. Untuk mendapatkan 100 MW, diperlukan 40 ha, sedangkan 1.000 MW (1 GW) akan memakai tanah seluas 400 ha [10].

2.2.2 Proses reaksi sel surya pada efek fotovoltaiik

Efek fotovoltaiik merupakan akibat terciptanya tegangan atau arus listrik setelah terpancar sinar matahari dalam bahan semikonduktor modul surya. Standar efek fotovoltaiik secara langsung terkait dengan efek fotolistrik. Ketika sinar matahari atau insiden cahaya lain pada permukaan material, elektron hadir dalam pita valensi yang menyerap energi dan antusias melompat ke pita konduksi dan elektron bebas. Elektron non termal menyebar dan beberapa mencapai ke box menghasilkan gaya gerak listrik, dan dengan demikian sebagai energi diubah menjadi energi listrik.



Efek fotovoltaiik juga dapat terjadi ketika dua foton diserap secara simultan dalam proses yang disebut efek fotovoltaiik dua foton. Proses kerja solar sel dalam menghasilkan tenaga, tegangan serta arus. Tegangan yang dihasilkan dalam sel surya dengan proses konversi tumbukan elektron-elektron yang dikenal sebagai “efek fotovoltaiik”. Penggumpalan intensitas irradiasi cahaya yang dihasilkan oleh persimpangan PN menyebabkan pergerakan elektron ke sisi tipe-n dan ke lubang atau hole ke sisi tipe-p pada persimpangan *kovalen bond*. Gambar 1 dibawah ini merupakan gambar dari efek fotovoltaiik [11].



Gambar 1 Efek Fotovoltaiik

2.2.3 Komponen utama PLTS

Komponen utama pada PLTS meliputi:

a. Modul PV

Modul PV terdiri dari banyak sel PV yang dihubungkan secara paralel untuk meningkatkan arus dan secara seri untuk menghasilkan tegangan yang lebih tinggi. Modul 36 sel adalah standar industri untuk produksi daya yang besar [12].

Modul ini dikemas dengan kaca temper (atau bahan transparan lainnya) di permukaan depan, dan dengan bahan pelindung dan tahan air di permukaan belakang. Tepinya disegel untuk tahan cuaca, dan sering kali ada bingkai aluminium yang menyatukan semuanya dalam unit yang dapat dipasang. Di bagian

modul terdapat kotak sambungan, atau kabel penghubung, yang akan sambungan listrik [12].



b. *Solar Charge Controller*

Solar Charge Controller adalah peralatan elektronik yang digunakan untuk mengatur arus searah yang diisi ke baterai dan diambil dari baterai ke beban. *Solar Charge Controller* mengatur overcharging (kelebihan pengisian-karena baterai sudah penuh) dan kelebihan voltase dari panel surya. Kelebihan voltase dan pengisianakan mengurangi umur baterai. *Solar Charge Controller* menerapkan teknologi Pulse Width Modulation (PMW) untuk mengatur fungsi pengisian baterai dan pembebasan arus dari baterai ke beban. Solar panel 12 Volt umumnya memiliki tegangan output 16-21 Volt. Jadi tanpa *Solar Charge Controller*,baterai akan rusak oleh *overcharging* dan ketidakstabilan tegangan. Baterai umumnya discharge pada tegangan 14-14,7 Volt [13].

Solar Charge Controller (SCC) atau juga dikenal sebagai *battery charge regulator* (BCR) adalah komponen elektronik daya di PLTS untuk mengatur pengisian baterai dengan menggunakan modul fotovoltaik menjadi lebih optimal. Perangkat ini beroperasi dengan cara mengaur tegangan dan arus pengisian berdasarkan daya yang tersedia dari larik modul fotovoltaik dan status pengisian baerai (SoC, *state of charge*). Untuk mencapai arus pengisian yang lebih tinggi, beberapa SCC dapat dipasang secara paralel di bank baterai yang sama dan menggabungkan daya dari modul fotovoltaik [13].

c. Inverter

Inverter adalah perangkat elektrik yang digunakan untuk mengubah arus listrik searah (DC) menjadi arus bolak balik (AC). Inverter mengkonversi DC dari perangkat seperti baterai, panel sel surya menjadi SC. Penggunaan inverter dari dalam Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) adalah untuk perangkat yang menggunakan AC (*Alternating Current*) [13].

Sumber tegangan input inverter dapat menggunakan baterai, tenaga surya atau sumber tegangan DC yang lain. Inverter dalam proses konversi tegangan DC menjadi tegangan AC membutuhkan suatu penaik tegangan berupa *step up* inverter [11].



d. Baterai

Baterai merupakan salah satu komponen utama dalam sistem PLTS yang memegang peranan penting sebagai sumber listrik, yang apabila lemah/soak sering kali menjadi penyebab terganggunya sistem PLTS, bahkan dapat mengakibatkan kerusakan pada komponen-komponen lainnya, baik dalam aplikasi SHS (*Solar Home Sistem*) maupun dalam aplikasi lampu jalan tenaga surya [11].

Baterai digunakan dalam sistem PLTS komunal untuk menyimpan energi yang dihasilkan oleh modul fotovoltaik di siang hari, lalu memasok ke beban di malam hari atau saat cuaca berawan. Baterai bertindak sebagai penyimpan energi sementara (*buffer*) untuk mengatasi perbedaan antara pasokan listrik dari modul fotovoltaik dan permintaan listrik. Saat ini baterai merupakan cara paling praktis untuk menyimpan tenaga listrik yang dihasilkan oleh rangkaian modul fotovoltaik melalui reaksi elektrokimia [14].

2.2.4 Potensi energi surya di Indonesia

Potensi energi surya di Indonesia sangat besar yakni sekitar 4.8 KWh/m² atau setara dengan 112.000 GWp, namun yang sudah dimanfaatkan baru sekitar 10 MWp. Saat ini pemerintah telah mengeluarkan roadmap pemanfaatan energi surya yang menargetkan kapasitas PLTS terpasang hingga tahun 2025 adalah sebesar 0.87 GW atau sekitar 50 MWp/tahun. Jumlah ini merupakan gambaran potensi pasar yang cukup besar dalam pengembangan energi surya di masa datang [15].

Saat ini pengembangan PLTS di Indonesia telah mempunyai basis yang cukup kuat dari aspek kebijakan. Namun pada tahap implementasi, potensi yang ada belum dimanfaatkan secara optimal. Mengingat rasio elektrifikasi di Indonesia baru mencapai 55-60% dan hampir seluruh daerah yang belum dialiri listrik adalah daerah pedesaan yang jauh dari pusat pembangkit listrik, maka PLTS yang dapat dibangun hampir di semua lokasi merupakan alternatif sangat tepat untuk



ngkan. Dalam kurun waktu tahun 2005-2025, pemerintah telah akan menyediakan 1 juta Solar Home System berkapasitas 50 Wp untuk at berpendapatan rendah serta 346,5 MWp PLTS hibrid untuk daerah

terpencil. Hingga tahun 2025 pemerintah merencanakan akan ada sekitar 0,87 GW kapasitas PLTS terpasang[15].

Dengan asumsi penguasaan pasar hingga 50%, pasar energi surya di Indonesia sudah cukup besar untuk menyerap keluaran dari suatu pabrik sel surya berkapasitas hingga 25 MWp per tahun. Hal ini tentu merupakan peluang besar bagi industri lokal untuk mengembangkan bisnisnya ke pabrikasi sel surya [15].

2.2. Energi Gelombang Laut

Energi gelombang adalah energi yang dihasilkan dari pergerakan gelombang laut menuju daratan dan sebaliknya. Gelombang laut secara ideal dapat dilihat berbentuk gelombang yang memiliki ketinggian puncak maksimum dan lembah minimum. Pada selang waktu tertentu, ketinggian puncak yang dicapai serangkaian gelombang laut berbeda-beda, bahkan ketinggian puncak ini berbeda-beda untuk lokasi yang sama jika diukur pada hari yang berbeda. Meskipun demikian secara statistik dapat ditentukan ketinggian signifikan gelombang laut pada satu titik lokasi tertentu.

2.2.1 Proses gelombang laut

Gelombang laut terjadi dalam rentang skala yang luas, dari panjang periode gelombang (pasang surut), hingga gelombang kapiler yang memiliki periode kurang dari 0,1 detik. Namun, gelombang yang cocok untuk pembangkit listrik umumnya memiliki periode dalam rentang 2–25 detik. Gelombang dihasilkan karena transfer energi angin dan momentum ke dalam medan gelombang. Awalnya, ketika permukaan laut tenang, fluktuasi tekanan kecil yang terkait dengan turbulensi aliran udara di atas permukaan air cukup untuk menyebabkan riak kecil di permukaan laut. Setelah riak-riak ini terbentuk, lereng-lereng kecil menyediakan mekanisme angin horizontal untuk bertindak lebih jauh di atas permukaan laut yang mengarah pada perkembangan gelombang yang cukup besar [16].



2.2.2. Konversi energi gelombang laut

Ada banyak teknologi WEC (diperkirakan ada lebih dari 1000 paten perangkat), tetapi sebagian besar dapat dikelompokkan ke dalam salah satu dari lima jenis teknologi:

1. Atenuator

Atenuator adalah perangkat mengambang panjang yang disejajarkan dengan arah rambat gelombang. Perangkat menangkap energi gelombang dengan selektif membatasi gerakan sepanjang panjangnya. Perangkat attenuator yang paling terkenal dan mungkin yang paling dikenal dari semua WEC adalah Pelamis.

2. Surface Point Absorber

Surface Point Absorber adalah struktur mengambang yang menyerap energi gelombang dari segala arah (berbeda dengan perangkat attenuator). Penyerap titik memiliki dimensi yang relatif kecil relatif terhadap panjang gelombang yang khas dan memiliki diameter beberapa meter. Contohnya adalah WaveBob dan PowerBuoy.

3. Oscillating Wave Surge Converter

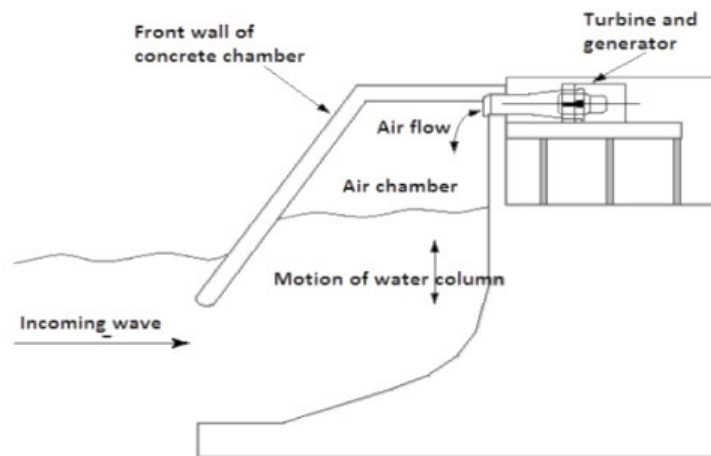
Oscillating Wave Surge Converter dibentuk dari kolektor dekat permukaan yang dipasang pada lengan yang diputar di dekat dasar laut. Lengan berosilasi sebagai pendulum terbalik karena pergerakan partikel air dalam gelombang. Perangkat ini juga dikenal sebagai pendulum terbalik. Contoh OWSC yang terkenal adalah Oyster.

4. Oscillating water column

Oscillating water column merupakan sistem yang membangkitkan listrik dari naik turunnya air laut akibat gelombang laut yang masuk ke dalam sebuah kolom osilasi yang berlubang. Naik turunnya air laut ini akan mengakibatkan keluar masuknya udara di lubang bagian atas kolom dan tekanan yang dihasilkan dari naik turunnya air laut dalam kolom tersebut akan menggerakkan turbin. Proses dari konversi energi gelombang laut menjadi energi listrik dapat

kan dengan:





Gambar 2 Proses Konversi Energi Gelombang Laut

Pembangkit gelombang laut ini terdiri dari kolom sebagai tempat air bergerak naik dan turun melalui saluran yang berada di bawah ponton, chamber berisi udara yang berfungsi untuk menggerakkan turbin dan turbin inilah yang akan terhubung dengan generator.

Sistem ini berfungsi mengkonversi energi mekanik menjadi listrik (turbin, generator) diletakkan di atas permukaan laut dan terisolasi dari air laut dengan meletakkannya di dalam ruang khusus kedap air, sehingga bisa dipastikan tidak bersentuhan dengan air laut. Dengan sistem yang dimilikinya, pembangkit listrik ini bisa memanfaatkan efisiensi optimal dari energi gelombang dengan meminimalisir ir melalui saluran menuju turbin.

2.2.3. Potensi energi gelombang laut

Indonesia adalah salah satu negara di dunia yang memiliki wilayah laut terbesar. Sekitar dua per tiga wilayah Indonesia adalah laut. Indonesia memiliki pantai kedua terpanjang di dunia setelah Kanada [17]. Hal tersebut menjadi keuntungan bagi Indonesia dari segi besarnya potensi energi laut. Energi laut yang dihasilkan dari gerakan dan perbedaan suhu lapisan laut (samudera) merupakan energi di perairan laut yang berupa energi pasang surut, energi gelombang, as laut, dan energi perbedaan suhu lapisan laut [17].

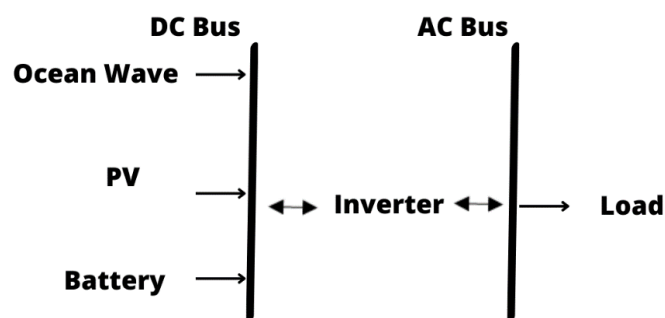


Beberapa penelitian menyimpulkan bahwa energi gelombang di beberapa titik di Indonesia bisa mencapai 70 kW/m di beberapa lokasi. Pantai barat Pulau Sumatera bagian selatan dan pantai selatan Pulau Jawa bagian barat juga berpotensi memiliki energi gelombang laut sekitar 40 kW/m [17].

Karakteristik energi gelombang sangat sesuai untuk memenuhi kebutuhan energi kota-kota pelabuhan dan pulau-pulau terpencil di Indonesia. Sayangnya, pengembangan teknologi pemanfaatan energi gelombang di Indonesia saat ini meskipun cukup menjanjikan namun masih belum optimal. Pemanfaatan energi gelombang yang sudah diaplikasikan di Indonesia baik oleh lembaga litbang (BPPT, PLN) maupun institusi pendidikan lainnya baru pada tahap penelitian [17].

2.3. Pembangkit listrik Tenaga Hibrida

Pembangkit Listrik Tenaga Hibrida (PLTH) merupakan perpaduan antara energi yang berbasis terbarukan maupun energi konvensional [18]. Gambar 2 menunjukkan diagram blok dari PLTH. Pada PLTH ini menggunakan kombinasi antara PV dan gelombang laut yang nantinya digunakan untuk menyuplai kebutuhan energi listrik.



Gambar 3 Blok Diagram PLTH



2.4 Daya Dihasilkan Oleh Pembangkit

Daya yang dihasilkan pada pembangkit hibrida ini terdiri dari:

1. Daya Fotovoltaik

Sistem energi surya menghasilkan tenaga listrik dengan mengubah energi foton matahari menjadi energi listrik berupa arus searah dengan menggunakan sel surya atau sel PV. Bahan kristal atau polikristalin umumnya digunakan untuk sel surya. Setiap sel PV menghasilkan sekitar 0,5V dan merupakan unit terkecil dari sistem PV surya. Daya keluaran dari PV dapat dinyatakan dengan menggunakan persamaan [19]:

$$P_{pvout} = P_{N-pv} \times \frac{G}{G_{ref}} \times [1 + K_t((T_{amb} + (0,0256 \times G)) - T_{ref})] \quad (1)$$

Dimana P_{pvout} adalah daya keluaran PV, P_{N-pv} adalah *rated power* dibawah *reference conditions*, G adalah solar radiation (W/m^2), G_{ref} adalah $1000 W/m^2$, K_t adalah $-3.7 \times 10^{-3} (1/^\circ C)$, T_{amb} adalah suhu sekitar, dan T_{ref} adalah $25^\circ C$.

2. Daya gelombang laut

Salah satu sumber energi terbarukan yang menjanjikan di dunia adalah gelombang laut. Energi gelombang dunia diproyeksikan menjadi 2 TW, dengan lautan membentuk 70% dari permukaan planet [20]. Daya keluaran dari ocean wave dapat dihitung dengan persamaan [21]:

$$P_{OC} = \left(\frac{\left(\frac{1}{4} \rho g a^2 \lambda \right)}{T} \right) \quad (2)$$

Dimana ρ adalah densitas air laut ($1030 kg/m^3$), a adalah tinggi rata-rata minimum dari gelombang laut (m), g adalah gravitasi bumi ($9.81 m/s^2$), λ adalah Panjang gelombang, $\lambda = 5,12 \times T^2$ (m), T adalah periode, $T = 3.55 \times \sqrt{H}$ (s), H adalah tinggi gelombang laut (m).

3. Baterai

Baterai digunakan untuk menyimpan energi listrik yang telah dihasilkan energi terbarukan. Baterai mempunyai siklus saat pengisian (charging) dan pengosongan (discharging). Jadi siklus yang terjadi pada baterai berupa siklus pengisian dan pengosongan [22].



Pada baterai memiliki nilai tingkat pemakaian (pengosongan) ini disebut dengan *Depth of Discharge* (DOD), mempunyai nilai sebesar 80%. Ini menunjukkan bahwa hanya 80% energi yang dapat digunakan sedangkan nilai sebesar 20% harus masih tersimpan pada baterai. Pengaturan daripada *Depth of Discharge* (DOD) digunakan untuk menjaga umur baterai (*life time*) dari baterai [22].

Kapasitas baterai (kW) dirancang sesuai dengan kebutuhan dan days of autonomy dengan menggunakan persamaan berikut [19]:

$$C_B = \frac{E_L \cdot AD}{DOD \cdot \eta_{inv} \cdot \eta_b} \quad (3)$$

Dimana E_L adalah beban, AD adalah autonomy days (biasanya 3-5hari), DOD adalah *depth of discharge* (80%), η_{inv} and η_b adalah efisiensi dari inverter (95%), and baterai (85%). Jumlah baterai dapat diketahui dengan persamaan[22]:

$$N_{bat} = \frac{Battery\ Capacity}{Nominal\ Battery\ Capacity} \quad (4)$$

2.5 Analisis Ekonomi Optimal

Pada penelitian ini optimasi dari segi ekonomi juga dipertimbangkan. Adapun yang menjadi pertimbangan disini adalah:

1. Net Present Cost (NPC)

Net Present Cost (NPC) adalah biaya total yang dikeluarkan selama pemasangan dan pengoperasian komponen selama masa proyek berlangsung. Biaya meliputi biaya modal, biaya penggantian, biaya operasional dan *maintenance*, biaya bahan bakar, dan denda emisi. NPC dapat dihitung dengan menggunakan persamaan berikut [23]:

$$NPC = CC (Capital\ Cost) + RC (Replacement\ Cost) + O\&M\ Cost + FC (Fuel\ Cost) + Salvage \quad (5)$$

Capital Cost adalah biaya modal komponen; *Replacement Cost* adalah penggantian komponen; *O&M Cost* : biaya operasional dan perawatan; *Fuel* ah biaya bahan bakar; dan *Salvage* : biaya yang tersisa pada komponen.



2. Cost of Energy

Cost of Energy merupakan biaya yang diperlukan untuk menghasilkan tiap 1 kWh energi listrik yang terpakai oleh sistem, hasil pembagian antara biaya tahunan dengan produksi energi tahunan oleh pembangkit sistem *hibrida*. nilai COE dari masing-masing skenario dapat dituliskan menggunakan persamaan berikut [23]:

$$COE = \frac{C_{ann}}{P_L} \quad (6)$$

Dimana C_{ann} adalah total biaya sistem selama setahun; dan P_L adalah total daya beban listrik yang dilayani oleh pembangkit *hibrida* dalam kWh/tahun.

2.6 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_{HT}, N_B . Fungsi tujuan ini dapat dipresentasikan sebagai berikut [24]

$$P_H = N_{pv} \cdot P_{pv} + N_{HT} \cdot P_{HT} + N_B \cdot P_B \quad (7)$$

$$C_H = C_{PV} \cdot N_{PV} + C_{HT} \cdot N_{HT} + C_B N_B \quad (8)$$

Dimana P_H adalah daya dari *combine* (gabungan) pembangkit dari panel surya dan gelombang laut, N_{TH} adalah jumlah pembangkit energi gelombang laut, P_{TH} adalah jumlah daya yang dihasilkan pembangkit energi gelombang laut, 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_{TH} adalah harga dari turbin hidrokinetik.

2.7 Batasan (Constrain)

Berdasarkan fungsi objektif, maka Batasan (constrain) dari penelitian ini adalah:



1. Jumlah komponen

ah setiap komponen harus berada diantara batas-batas tertentu. Pada ini ditetapkan jumlah minimum untuk semua komponen sebesar 1 unit ah maksimum PV di set pada nilai 3000 unit, ocean wave 5 unit dan baterai

200 unit. Jumlah maksimum dan minimum dari kombinasi pembangkit EBT yang dinyatakan sebagai berikut:

$$\begin{aligned} 1 &\leq N_{PV}^{min} \leq N_{PV}^{max} \\ 1 &\leq N_{HT}^{min} \leq N_{HT}^{max} \\ 1 &\leq N_B^{min} \leq N_B^{max} \end{aligned} \quad (9)$$

Dimana min dan max merupakan nilai minimum dan maksimum jumlah pembangkit.

2. Keandalan sistem juga menjadi bagian dari solusi pada penelitian ini.

Keandalan sistem merupakan jaminan kontinuitas pelayanan beban tanpa adanya *blackout* atau gangguan yang terjadi karena kekurangan pasokan energi ke beban menggunakan standar LPSP (*Loss of power supply probability*) yang dapat dihitung dengan persamaan :

$$LPSP = \frac{\sum_{t=0}^T LPS}{\sum_{t=0}^T P_{Load}(t)} \quad (10)$$

$$LPS(t) = P_{Load} - [P_{PV} + P_{HT} + P_{batt}] \cdot \eta_{inv} \quad (11)$$

Dimana LPS (*Loss of Power Supply*) merupakan defisit energi antara kebutuhan beban dan energi yang dibangkitkan, sedangkan T dapat didefinisikan sebagai rasio semua nilai LPS (t) untuk periode tersebut dengan jumlah permintaan beban.

2.8 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. Keunggulan metode EHO untuk beberapa algoritma metaheuristik yang canggih telah ditunjukkan untuk banyak masalah benchmark dan di berbagai area aplikasi [25].

Masalah optimasi global diselesaikan dengan menggunakan perilaku menggiring gajah, dimana aturan yang digunakan untuk menyederhanakan masalah n [26]:

iasumsikan jumlah populasi gajah terbagi menjadi dua kelompok. Klan ini memiliki gajah dalam jumlah tertentu.



- Juga diasumsikan bahwa gajah jantan yang berkinerja paling buruk akan meninggalkan kelompok keluarganya. Ia hidup sendiri pada jarak yang luar biasa dari kelompok gajah pada kemunculan setiap generasi.
- Matriarch adalah pemimpin dari semua gajah yang hidup dalam sebuah klan.

Tahapan dalam pemecahan optimasi menggunakan EHO sebagai berikut :

1. Clan updating operator

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

$$x_{new,ci,j} = x_{ci,j} + a \times (x_{best,ci} - x_{ci,j}) \times r \quad (12)$$

Dimana $x_{new,ci,j}$ dan $x_{ci,j}$ masing-masing menunjukkan posisi baru dan lama untuk gajah j dalam matriach ci . $x_{best,ci}$ adalah matriach 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.

$$x_{new,ci,j} = \beta \times x_{center,ci} \quad (13)$$

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 :

$$x_{center,ci,d} = \frac{1}{n_{ci}} \times \sum_{j=1}^{n_{ci}} x_{ci,j,d} \quad (14)$$

dimana $1 \leq d \leq D$ 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. (14).

2. Separating 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

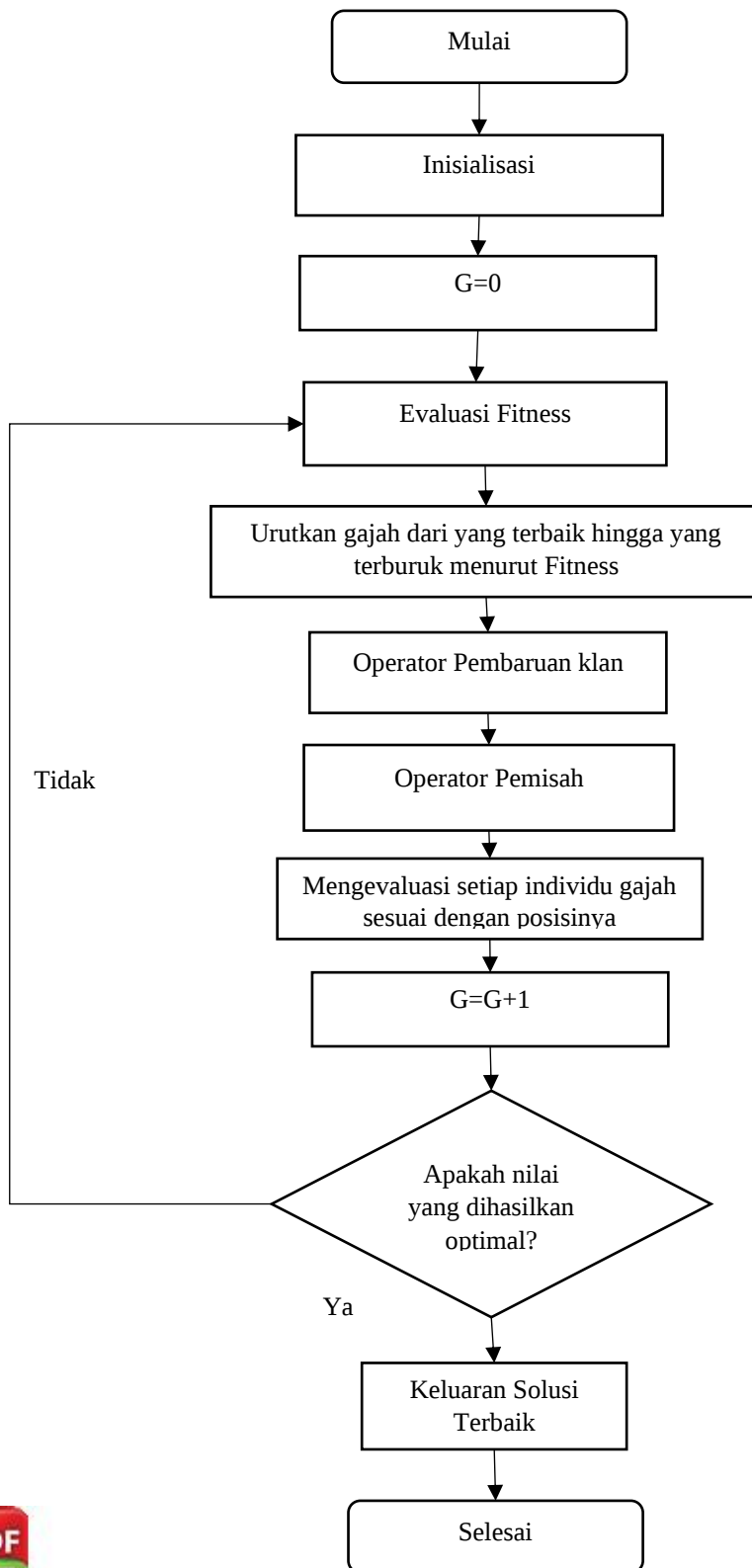
Untuk lebih meningkatkan kemampuan pencarian metode EHO, akan bahwa individu gajah dengan kondisi terburuk akan menerapkan pemisah pada setiap generasi seperti yang ditunjukkan pada persamaan :



$$x_{worst,ci} = x_{min} + (x_{max} - x_{min} + 1) rand \quad (15)$$

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 . $Rand \in [0, 1]$ adalah sejenis distribusi stokastik dan distribusi seragam pada rentang $[0,1]$. Pada gambar 3 dibawah ini merupakan diagram alir dari *Elephant Herding Optimization (EHO)*.





Gambar 4 Diagram Alir Algoritma EHO

