

Penerapan Algoritma Differential Evolution Pada Optimasi Ekonomis Sistem Kelistrikan Hibrida

Muflih Zain
Electrical Engineering Department
Hasanuddin University
Makassar, Indonesia
zainm20d@student.unhas.ac.id

Muhammad Bachtiar Nappu
Electrical Engineering Department
Hasanuddin University
Makassar, Indonesia
bachtiar@eng.unhas.ac.id

Ardiaty Arief
Electrical Engineering Department
Hasanuddin University
Makassar, Indonesia
ardiaty@eng.unhas.ac.id

Dianti Utamidewi
Electrical Engineering Department
Hasanuddin University
Makassar, Indonesia
amidianti@unhas.ac.id

Ian Adrian Bustanuddin
Electrical Engineering Department
Hasanuddin University
Makassar, Indonesia
ianab@unhas.ac.id

Abstrak — Listrik merupakan sumber energi penting dalam kehidupan modern, namun biaya operasional sistem tenaga listrik, terutama pembangkit berbasis thermal seperti PLTD, sangat besar. Mini-grid yang menggunakan pembangkit listrik tenaga diesel memiliki biaya tinggi. Integrasi energi terbarukan seperti fotovoltaik (PV) dapat mengurangi konsumsi bahan bakar, tetapi tantangan muncul karena ketidakstabilan sumber daya dan profil beban yang bervariasi, menyulitkan penjadwalan genset diesel untuk efisiensi tinggi. Oleh karena itu, diperlukan optimasi ekonomis. Pulau Selayar menggunakan sistem hybrid PLTD dengan 12 unit diesel dan PLTS dengan 1,3 MWp. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui efektivitas metode Differential Evolution (DE) dalam penjadwalan ekonomis dan pengurangan biaya bahan bakar pada sistem kelistrikan Selayar.

Kata kunci — Listrik, energi, hybrid PLTD dan PLTS, optimasi ekonomis, biaya bahan bakar, unit commitment, differential evolution

I. PENDAHULUAN

Listrik adalah sumber energi vital dalam kehidupan modern dan kebutuhan pokok bagi masyarakat dan industri. Banyak peralatan membutuhkan listrik yang disuplai oleh berbagai unit pembangkit listrik yang saling terhubung dalam sistem interkoneksi. Operasi sistem tenaga listrik memerlukan biaya besar, termasuk biaya pembelian tenaga listrik, pegawai, bahan bakar, dan material operasi [1].

Menurut data RUPTL 2021-2030 oleh PLN, jumlah pelanggan di Sulawesi diperkirakan meningkat 1,4 juta per tahun 2025, yang akan meningkatkan konsumsi energi Listrik [2]. Kebutuhan bahan bakar untuk pembangkit listrik juga akan besar, namun harus tetap optimal dari segi harga, keamanan, dan keandalan.

Pengelolaan unit pembangkit memerlukan manajemen yang baik untuk mencapai efisiensi ekonomis, mengurangi biaya produksi energi, terutama bahan bakar [3]. PLTD sering digunakan di daerah terisolasi, meskipun biaya operasionalnya tinggi, terutama untuk bahan bakar.

Pulau Selayar menggunakan PLTD untuk memenuhi kebutuhan listrik dengan beban puncak sekitar 7,85 MW. Pada 2022, PLN mengoperasikan PLTS 1,3 MWp secara hibrid dengan PLTD untuk menekan biaya operasional [4]. Integrasi sumber energi terbarukan seperti PV dapat mengurangi konsumsi bahan bakar, tetapi membutuhkan optimasi ekonomis [5].

Penelitian ini menggunakan metode Differential Evolution (DE) untuk optimasi *Economic dispatch* dalam sistem kelistrikan hybrid PLTD dan PLTS di Selayar. Penelitian ini bertujuan untuk mengoptimalkan biaya bahan bakar dan menguji efektivitas metode DE.

II. STUDI LITERATUR

A. Optimasi Pembangkit Listrik

Terdapat dua pertimbangan utama dalam optimasi unit pembangkit pada sistem tenaga, yaitu *Unit commitment* dan *economic dispatch* [6].

1. Unit Commitment

Unit commitment merupakan penjadwalan hubung-lepas pembangkitan unit pembangkit pada sistem tenaga listrik dalam kurun waktu tertentu, dengan tujuan untuk memenuhi permintaan beban. Tujuan utama dari penjadwalan ini adalah untuk mendapatkan biaya pembangkitan yang ekonomis dalam periode waktu tertentu, namun tetap mempertimbangkan batasan-batasan operasi yang ada. Setiap unit pembangkit memiliki berbagai batasan operasi seperti *spinning reserve*, *minimum up-down time*, pembangkitan daya maksimum dan minimum, dan biaya penyalan unit pembangkitan.

2. Economic Dispatch

Economic dispatch adalah proses untuk mengatur besarnya daya yang harus dipasok dari setiap unit pembangkit agar memenuhi suatu beban tertentu. Proses ini

dilakukan dengan membagi beban di antara unit-unit pembangkit yang ada dalam sistem secara ekonomis yang optimal, dengan tujuan untuk meminimalkan biaya operasional dari pembangkitan energi [7].

B. Fungsi Biaya Bahan Bakar

Dalam pengoperasiannya setiap dari unit pembangkit termal memiliki kriteria dan karakteristik yang berbeda-beda. Kriteria input dan output dari pembangkit memperlihatkan suatu hubungan antara input biaya bahan bakar (Rp) dan output yang dihasilkan dari unit pembangkit (MW). Secara matematis, dengan menggunakan kondisi Karush-Kuhn-Tucker, untuk meminimalisasi penggunaan biaya bahan bakar pada pembangkitan total diperlukan nilai daya yang optimal dan dapat diselesaikan dengan persamaan [5]:

$$F_t = \sum_{i=1}^n F_i(P_i) \quad (1)$$

Sehingga

$$\min F_t = \sum_{i=1}^n (a_i P_i^2 + b_i P_i + c_i) \quad (2)$$

C. Constraint

Dalam melakukan optimasi, terdapat batasan-batasan yang perlu diterapkan agar diperoleh hasil optimasi yang optimal seperti *lower-upper bound* dan *power balance*. Selama operasi sistem, daya aktual dari semua unit pembangkit tenaga termal harus berada dalam rentang yang layak dan tidak boleh dioperasikan pada daya rendah atau kelebihan beban [8], dimana:

$$P_i \min < P_i < P_i \max \quad (3)$$

$$P_{plant} - \sum_{i=1}^M P_i = 0 \quad (4)$$

Dimana:

$$P_{plant} : P_{load} - P_{PV} \quad (5)$$

D. Constraint

Dalam berbagai penelitian, algoritma *Differential Evolution* (DE) telah terbukti menunjukkan kinerja yang baik dan ketahanan yang kuat dalam menangani beberapa masalah optimasi nonlinier dan multimodal [9]. Operasi DE *Algorithm* untuk Optimasi *Economic dispatch* pada pembangkit dijelaskan dengan rinci [10]:

1. Pembacaan Data

Pengumpulan dan pembacaan data sistem yang akan digunakan dalam pengujian yakni data fungsi biaya pembangkitan dan batasan pembangkitan daya.

2. Inisiasi

Dalam *Differential Evolution Algorithm* (DEA) menggunakan 2 buah populasi vektor. Masing-masing populasi terdiri dari N_p vector dengan D-dimensional parameter. Populasi awal, P_x , terdiri dari vektor $X_{i,g}$ yang ditentukan sebagai *initial point*.

3. Mutasi

Pada tahap ini akan dibentuk populasi yang berisi *mutant vector* ($v_{i,g}$). Pembentukan ini dilakukan dengan mengkombinasi perbedaan vektor (*differential vector*) dari vektor satu ($xr1,g$) dan vektor dua ($xr2,g$) yang dipilih secara acak pada vektor ketiga ($xr0$).

4. Crossover

Tahap *crossover* adalah tahap dimana hasil akhirnya adalah sebuah populasi yang berisi *trial vector*. Populasi ini didapatkan dari hasil *crossover* antara populasi vektor awal dengan populasi vektor mutan.

5. Seleksi

Pada tahap ini dilakukan seleksi untuk menentukan vektor yang akan menjadi anggota populasi untuk iterasi selanjutnya. Jika *trial vector*, $u_{i,g}$, memiliki nilai *objective function* atau *fitness* sama atau lebih kecil daripada *fitness* vektor awal, maka ia mengganti target vektor pada pembangkitan atau iterasi selanjutnya

III. METODOLOGI PENELITIAN

A. Variabel Penelitian

Pada penelitian Optimasi Ekonomis dengan algoritma DE ini akan mengukur biaya operasi pembangkitan dalam hal ini adalah biaya bahan bakar optimal menggunakan fungsi beban PLTD yang dikurangkan dengan fungsi beban PLTS. Adapun hasil optimasi akan dibandingkan dengan metode *Artificial Bee Colony* untuk mengetahui efektivitas hasil optimasi.

B. Teknik Pengumpulan Data

Jenis dari penelitian ini adalah studi kasus pada sistem pembangkit listrik tenaga hibrid diesel dan tenaga surya serta jumlah unit pembangkitnya berbeda-beda. Data yang digunakan pada penelitian ini adalah data sekunder yang diperoleh dari PT. PLN (Persero) Pembangkitan Tello Unit PLTD Selayar yang kemudian akan diolah dan dianalisis dengan metode *Differential Evolution* di MATLAB. Adapun data yang akan dikumpulkan adalah data beban, data kapasitas pembangkit, serta data karakteristik biaya bahan bakar pembangkit.

IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Data ULPLTD Selayar

The energy audit process begins by looking for the Energy Consumption Intensity (IKE) value in the Engineering Faculty, Universitas Hasanuddin Penentuan biaya optimasi bahan bakar PLTD akan dilakukan pada 11 unit generator diesel yang ada pada PLTD Selayar serta akan dikombinasikan dengan PLTS selayar sebagai beban negatif (beban pengurang). Data kapasitas pembangkit pada PT. PLN ULPLTD Selayar dapat dilihat pada Tabel 1 berikut ini:

TABEL 1. KAPASITAS PEMBANGKITAN UNIT

Unit Pembangkit	Daya (MW)	
	Minimum	Maksimum
Deutz 1 (BV 1)	0	0,9
Deutz 2 (BV 2)	0	0,9
Deutz 3 (BV 3)	0	0,9
Deutz 5 (BV 5)	0	0,9
Daihatsu (DHS)	0	0,22
Cummins 1 (CMS 1)	0	1
Cummins 2 (CMS 2)	0	1
Cummins 3 (CMS 3)	0	1
Mitsubishi 1 (MTS 1)	0	1
Mitsubishi 2 (MTS 2)	0	1
Mitsubishi 3 (MTS 3)	0	1
PLTS Hybrid	0	1

pada hari kerja 20 Januari 2024. Optimasi ini bertujuan untuk mengetahui biaya bahan bakar sebelum dilakukan optimasi (mengikuti skema operasi PT. PLN ULPLTD Selayar) dengan setelah dilakukan optimasi menggunakan metode *Differential Evolution* sehingga diperoleh efektivitas metode tersebut dalam mengurangi biaya bahan bakar. Pada skenario optimasi *realtime* ini, akan diukur efektivitas biaya bahan bakar metode DE ketika diterapkan pada karakteristik pembebanan hari kerja dibandingkan dengan biaya bahan bakar sebelum dilakukan optimasi yang merujuk pada skema operasi PT. PLN ULPLTD Selayar.

Biaya bahan bakar paling rendah dicapai dengan membagi beban pada setiap unit pembangkit sedemikian rupa sehingga didapatkan kombinasi unit pembangkit yang dapat memenuhi kebutuhan beban dengan biaya bahan bakar yang optimal. Ini berarti mencari output daya yang optimal dari kombinasi unit pembangkit untuk meminimalkan total biaya bahan bakar. Dari hasil optimasi dengan metode DE diperoleh biaya bahan bakar untuk membangkitkan daya tiap jam selama 24 jam kemudian dibandingkan dengan sebelum dilakukan optimasi yang dapat dilihat pada Tabel 2 berikut ini:

B. Optimasi Realtime 24 Jam

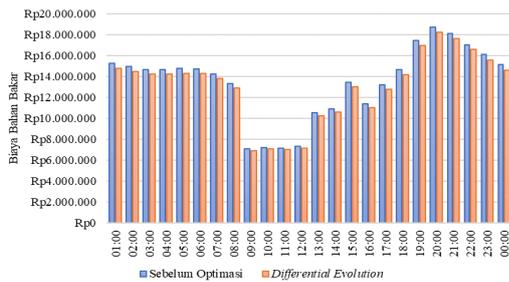
Skenario optimasi *realtime* ini menggunakan data beban aktual selama 24 jam pada dua skenario pembebanan yaitu

TABEL 2. OPTIMASI PEMBEBANAN HARI KERJA

Waktu	Biaya Bahan Bakar (Rp/jam)		
	Sebelum Optimasi	<i>Differential Evolution</i>	Perbedaan Biaya Bahan Bakar
01:00	15.254.517	14.752.194	502.323
02:00	14.962.049	14.475.610	486.439
03:00	14.669.581	14.208.494	461.087
04:00	14.669.581	14.208.494	461.087
05:00	14.792.726	14.310.110	482.616
06:00	14.746.547	14.273.632	472.915
07:00	14.253.969	13.794.553	459.416
08:00	13.330.386	12.911.021	419.365
09:00	7.080.805	6.904.477	176.328
10:00	7.219.343	7.065.681	153.662
11:00	7.173.164	7.005.613	167.551
12:00	7.311.701	7.126.885	184.816
13:00	10.544.243	10.237.823	306.420
14:00	10.898.283	10.573.943	324.340
15:00	13.438.137	13.011.391	426.746
16:00	11.375.468	11.025.627	349.841
17:00	13.176.455	12.759.157	417.298
18:00	14.638.795	14.160.263	478.532
19:00	17.424.938	16.958.394	466.544
20:00	18.717.955	18.245.427	472.528
21:00	18.133.019	17.607.694	525.325
22:00	17.040.112	16.571.953	468.159
23:00	16.101.135	15.582.478	518.657
00:00	15.115.980	14.620.343	495.637
Total	322.068.887	312.391.257	9.677.630

Tabel 2 diatas menunjukkan perbandingan biaya bahan bakar dalam rentang waktu 24 jam pada tanggal 20 Januari 2024 sebelum dengan setelah dilakukan optimasi dengan metode DE serta biaya penghematan untuk setiap jam (Rp/Jam) untuk 11 unit yang masuk dalam operasi optimasi.

Dari tabel tersebut dapat dilihat bahwa setiap jam terjadi perubahan beban atau kebutuhan daya aktif dimana hal ini memengaruhi nilai biaya bahan bakar unit dan hasilnya menunjukkan bahwa terjadi penghematan biaya bahan bakar setelah dilakukan optimasi penjadwalan pengoperasian unit menggunakan metode DE dengan total biaya penghematan selama 24 jam sebesar Rp9.677.630. Dari nilai tersebut kemudian diperoleh total penghematan biaya bahan bakar dengan asumsi *load profile* pada hari kerja cenderung sama selama 2024 yaitu sebesar Rp2.525.861.430. Dari tabel juga dapat dilihat bahwa semakin besar beban sistem maka semakin besar selisih biaya bahan bakar antara sebelum optimasi dengan setelah optimasi DE. Hal ini berarti linear juga dengan semakin kecil produksi daya PLTS maka biaya penghematan bahan bakar akan semakin besar ketika dilakukan optimasi dengan metode DE. Perbandingan biaya bahan bakar antara sebelum dan sesudah optimasi dapat dilihat pada Gambar 1 berikut:



Gambar 1. Grafik perbandingan biaya bahan bakar sebelum dan sesudah optimasi pada hari kerja

Dari gambar diatas dapat dilihat bahwa dalam setiap jam terjadi penghematan biaya bahan bakar dimana hal ini menunjukkan efisiensi metode DE pada karakteristik beban hari kerja dengan persentase efisiensi sebesar 3,00% dibandingkan dengan biaya bahan bakar sebelum dilakukan optimasi yakni sesuai dengan skema operasi PT PLN ULPLTD Selayar.

V. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil dari penelitian yang telah dilakukan, maka dapat disimpulkan bahwa dari hasil simulasi yang dilakukan pada sistem PT. PLN ULPLTD Selayar dalam beberapa skenario beban dan konfigurasi unit serta daya PLTS, optimasi dengan metode *differential evolution* menghasilkan biaya bahan bakar dan biaya energi lebih rendah serta *unit commitment* yang lebih efisien dibandingkan dengan metode optimasi dimana dari hasil simulasi yang dilakukan pada beban *realtime* 24 jam dengan skenario pembebanan hari kerja pada tanggal 20 Januari 2024, perbandingan hasil optimasi

menggunakan metode *differential evolution* dengan sebelum dilakukan optimasi menghasilkan biaya penghematan bahan bakar sebesar Rp9.677.630. Akumulasi total biaya penghematan bahan bakar selama 2024 untuk karakteristik beban hari kerja sebesar Rp2.525.861.430 sehingga optimasi dengan metode *differential evolution* sangat efektif dalam mengurangi total biaya bahan bakar pembangkitan dengan efisiensi rata-rata sebesar 3% dibandingkan sebelum dilakukan optimasi.

Energy savings can be done by; turn off electronic devices when not in use, change the type of LED lights, organize a good room layout, take advantage of natural lighting, carry out routine maintenance on the air conditioner, regulate the room temperature wisely, use window coverings and ventilation, change the type of refrigerant that saves more electricity, and use a power strip with a switch.

This research can make it easier for energy auditors to implement an information system that enables efficiency in the energy audit process, including monitoring energy consumption, identifying potential savings, and the results of electrical energy audits can be presented in more detail and supported by reliable data, enabling decision making. which is appropriate for optimizing energy management, as well as enabling faster and more accurate access to the required information.

REFERENSI

- [1] Himmah, F. (2013). Penerapan algoritma genetika pada masalah penjadwalan operasi sistem pembangkit tenaga listrik.
- [2] Direktorat Perencanaan Korporat PLN. (2021). Diseminasi RUPTL 2021-2030. Available at: <https://web.pln.co.id/static/uploads/2021/10/materi-diseminasi-2021-2030-publik.pdf>.
- [3] Idris, A. R. (2016). *Studi Optimasi Operasi Pembangkit Tenaga Listrik dengan Metode Pemrograman Dinamik*. 55–66.
- [4] Indrawan, R. (2022). *PLTS Terbesar di Sulawesi Selatan Mulai Beroperasi*. *Dunia Energi*. Available at: <https://www.dunia-energi.com/plts-terbesar-di-sulawesi-selatan-mulai-beroperasi/> (Accessed: 5 December 2023).
- [5] Bachi, M.D. (2012) *Economic dispatch and demand side management in diesel hybrid mini-grids* (Doctoral dissertation, Concordia University).
- [6] Wahyu, C. (2022) 'Optimasi Koordinasi Pembangkit Termal PLTG Belawan dan PLTD Titi Kuning', pp. 1–8.
- [7] Duri, A. (2023). Penerapan Hybrid Artificial Bee Colony And Differential Evolution Pada Optimasi Ekonomis Pembangkit Listrik (Thesis, Universitas Hasanuddin).
- [8] Bai, Y., Wu, X., & Xia, A. (2021). An enhanced multi-objective differential evolution algorithm for dynamic environmental economic dispatch of power system with wind power. *Energy Science and Engineering*, 9(3), 316–329. <https://doi.org/10.1002/ese3.827>.
- [9] Almalaq, A., Guesmi, T., & Albadran, S. (2023). A hybrid chaotic-based multiobjective differential evolution technique for economic emission dispatch problem. *Energies*, 16(12), 4554.
- [10] Fahira, Y.U. (2015) 'Optimasi Penempatan Dan Kapasitas Distributed Generation Menggunakan Metode Differential Generation Using Differential Evolution Method', *Jurusan Teknik Elektro*, 5.