

SKRIPSI

**PENERAPAN ALGORITMA *DIFFERENTIAL EVOLUTION*
PADA OPTIMASI EKONOMIS SISTEM KELISTRIKAN
HYBRID PLTD DAN PLTS SELAYAR**

Disusun dan diajukan oleh:

**MUFLIH ZAIN
D041 20 1039**



**PROGRAM STUDI SARJANA TEKNIK ELEKTRO
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS HASANUDDIN
GOWA
2024**



Optimized using
trial version
www.balesio.com


LEMBAR PENGESAHAN SKRIPSI**PENERAPAN ALGORITMA *DIFFERENTIAL EVOLUTION*
PADA OPTIMASI EKONOMIS SISTEM KELISTRIKAN
HYBRID PLTD DAN PLTS SELAYAR**

Disusun dan diajukan oleh

Muflih Zain
D041201039

Telah dipertahankan di hadapan Panitia Ujian yang dibentuk dalam rangka
Penyelesaian Studi Program Sarjana Program Studi Teknik Elektro
Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin
Pada tanggal 8 Agustus 2024
Dan dinyatakan telah memenuhi syarat kelulusan

Menyetujui,
Pembimbing Utama,



Prof. Ir. M. Bachtiar Nappu, S.T., M.T., M.Phil., Ph.D.
NIP. 197604062003121002

Ketua Program Studi,



PERNYATAAN KEASLIAN

Yang bertanda tangan dibawah ini:

Nama : Muflih Zain

NIM : D041201039

Program Studi : Teknik Elektro

Jenjang : S1

Menyatakan dengan ini bahwa karya tulisan saya berjudul

PENERAPAN ALGORITMA *DIFFERENTIAL EVOLUTION* PADA OPTIMASI EKONOMIS SISTEM KELISTRIKAN *HYBRID* PLTD DAN PLTS SELAYAR

Adalah karya tulisan saya sendiri dan bukan merupakan pengambilan alihan tulisan orang lain dan bahwa skripsi yang saya tulis ini benar-benar merupakan hasil karya saya sendiri.

Semua informasi yang ditulis dalam skripsi yang berasal dari penulis lain telah diberi penghargaan, yakni dengan mengutip sumber dan tahun penerbitannya. Oleh karena itu semua tulisan dalam skripsi ini sepenuhnya menjadi tanggung jawab penulis. Apabila ada pihak manapun yang merasa ada kesamaan judul dan atau hasil temuan dalam skripsi ini, maka penulis siap untuk diklarifikasi dan mempertanggungjawabkan segala resiko.

Segala data dan informasi yang diperoleh selama proses pembuatan skripsi, yang akan dipublikasi oleh Penulis di masa depan harus mendapat persetujuan dari Dosen Pembimbing.

Apabila dikemudian hari terbukti atau dapat dibuktikan bahwa sebagian atau keseluruhan isi skripsi ini hasil karya orang lain, maka saya bersedia menerima sanksi atas perbuatan tersebut.

Gowa, 8 Agustus 2024

Yang Menyatakan,


Muflih Zain

10000
METERAI
TEMPEL
AD3D4ALX325676834



KATA PENGANTAR

Puji dan Syukur penulis panjatkan kepada Allah Subhanahu Wa Ta'ala, atas berkat dan limpahan rahmat, kesehatan, dan petunjuk sehingga penulis dapat menyelesaikan tugas akhir ini dengan judul “PENERAPAN ALGORITMA *DIFFERENTIAL EVOLUTION* PADA OPTIMASI EKONOMIS SISTEM KELISTRIKAN *HYBRID* PLTD DAN PLTS SELAYAR”. Penyusunan tugas akhir merupakan salah satu syarat kelulusan pada pendidikan strata satu (S1) di Departemen Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin sehingga penulisan tugas akhir ini tidak terlepas sebagai pemenuhan penulis untuk menyelesaikan studi sarjana.

Dalam penyelesaian tugas akhir, penulis menyadari banyaknya dukungan dan bantuan dari berbagai pihak. Oleh karena itu, pada kesempatan ini penulis mengucapkan terima kasih sebesar-besarnya kepada:

1. Bapak **Prof. Dr. Eng. Ir. Muhammad Isran Ramli, S.T., M.T., IPM** selaku Dekan Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin
2. Ibu **Dr. Eng. Ir. Dewiani, M.T** dan Bapak **Dr. Ir. Ikhlas Kitta, S.T., M.T** selaku ketua dan sekretaris Departemen Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin
3. Bapak **Prof. Ir. M. Bachtiar Nappu, S.T., M.T., M.Phil., Ph.D** selaku dosen pembimbing penulis atas kebijaksanaannya dalam membimbing penulis dan meluangkan waktunya untuk bertukar pikiran serta memberikan inspirasi, kritikan, dan evaluasi dalam penyelesaian tugas akhir ini
4. Bapak **Ir. Tajuddin Waris, M.T** dan Ibu **Dr. Ir. Sri Mawar Said, M.T** selaku dosen penguji yang telah meluangkan waktunya untuk memberikan saran, koreksi, dan arahan dalam penyelesaian tugas akhir penulis
5. Seluruh dosen pengajar Departemen Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin atas ilmu dan kebijaksanaan yang telah diajarkan kepada penulis selama berkuliah

seluruh staf administrasi dan laboratorium dalam ruang lingkup departemen Teknik Elektro dan Fakultas Teknik atas bantuan, keramahan,



dan kemudahan kepada penulis dalam mengurus keperluan administratif dan laboratorium selama penulis menyusun tugas akhir ini

Yang teristimewa, penulis persembahkan kepada:

1. Ibu dan Ayah tercinta, **Ibu Hamriani dan Bapak Zairuddin**, serta kakak dan adik penulis yang tak henti-hentinya memberikan semangat, dukungan, dan do'a sehingga skripsi ini dapat terselesaikan dengan baik
2. Rekan-rekan **Mentor Elektro angkatan 2020 (Aflah, Nurul, Dinda, dan Salsah)** yang telah menjadi wadah untuk melampiaskan keluh, kesah, canda, tawa, hingga tangis dan haru selama berjalannya perkuliahan serta dukungan dan dorongan moral selama penyelesaian tugas akhir
3. Saudara-saudaraku, **Co-Ops Buddies** yang telah kebersamai penulis berproses selama 6 bulan di Sorowako yang penuh suka dan duka serta selalu memberikan dukungan, masukan, dan bantuan untuk penulis dalam mengerjakan project sampai tugas akhir
4. Teman-teman yang tergabung dalam **Perkumpulan Bontoa (Aflah, Ikhlas, Rosman, dan Ryan)** yang telah mewarnai kehidupan KP penulis di PT Semen Tonasa dan tetap berlanjut sampai di masa kuliah dengan candaan serta dukungan positif bagi penulis
5. Para **Penjual Listrik: Ponso, Febe, dan Salsah**. Terima kasih telah membantu menjadi tempat penulis bertanya ketika penulis kebingungan dalam mengerjakan tugas akhir dan senantiasa kompak dalam bekerja sama hingga selesainya tugas akhir ini
6. **Keluarga Energi** yang kebersamai penulis menjalani mata kuliah peminatan termasuk Praktikum Teknik Tenaga Listrik yang mengurus tenaga, pikiran dan emosi, akan tetapi dengan kekompakan dan solidaritas membuat kita bisa menyelesaikan itu semua
7. Saudaraku **PROCEZ20R** yang telah kebersamai penulis mengukir kisah perkuliahan yang penuh dengan canda, tawa, sedih, dan haru. Terima kasih atas kekompakan dan solidaritasnya dalam membantu penulis berbagi wawasan, cerita, dan pengalaman. Semoga dimanapun kalian berada dan apapun yang dicita-citakan selalu diberikan kemudahan dan



kesuksesan, serta selalu menginspirasi yang lain bahwa kebersamaan tidak akan pandang umur, waktu, dan jarak. Akan tetapi ingatlah, **biarkan esok tetap menjadi misteri!**

8. Mentor Co-Ops penulis, **Mas Reza Alfauzi**. Terima kasih atas pengalaman, ilmu, dan nasehatnya kepada penulis selama magang di PT Vale Indonesia sehingga penulis bisa lebih dewasa dalam memandang dunia kelistrikan dan profesionalisme
9. Keluarga **Utilities Engineering, Reliability, and Maintenance System (UMEP) PT Vale Indonesia** atas sambutan hangat, pengalaman, cerita, dan wawasannya kepada penulis dalam berproses selama 6 bulan di Sorowako
10. Seluruh Jajaran **PT. PLN ULPLTD Selayar** atas bantuan dalam memberikan data, masukan, dan evaluasi terkait penelitian penulis
11. Teman-teman **KKN Desa Ureng Kabupaten Bone** yang telah memberikan pengalaman baru kepada penulis termasuk kepada seluruh masyarakat Desa Ureng terkhusus Mak Lebbi' atas kehangatan dan kebaikannya selama masa pengabdian
12. Sahabat dan rekan istimewa penulis: **Aulia Uswatun Hasanah, Ahmad Firdaus Ibrahim, dan Muhammad Arif Rahman**. Terima kasih untuk selalu hadir dan mendukung penulis selama proses penyusunan tugas akhir ini
13. Seluruh pihak yang terlibat baik secara langsung maupun tidak langsung dalam bentuk dukungan, bantuan, dan doa yang tidak dapat disebutkan

Penulis menyadari bahwa terdapat kekurangan dalam penyusunan tugas akhir ini. Oleh karena itu, penulis mengharapkan kritik, saran, dan arahan yang dapat menjadi pengembangan ataupun perbaikan dari berbagai pihak. Sehingga dapat dijadikan bahan untuk evaluasi kedepannya. Penulis berharap penelitian ini dapat memberi manfaat baik itu kepada penulis maupun pembaca.



ABSTRAK

MUFLIH ZAIN. *Penerapan Algoritma Differential Evolution pada Optimasi Ekonomis Sistem Kelistrikan Hybrid PLTD dan PLTS Selayar* (dibimbing oleh M. Bachtiar Nappu)

Listrik merupakan salah satu sumber energi terpenting dalam kehidupan modern. Untuk menjalankan operasi sistem tenaga listrik yang terdiri dari beberapa unit pembangkit, diperlukan biaya yang cukup besar terutama dalam biaya bahan bakar untuk pembangkit yang berbasis *thermal* termasuk PLTD. Mini-grid yang menggunakan pembangkit listrik tenaga diesel memiliki biaya yang tinggi. Integrasi energi terbarukan seperti fotovoltaik (PV) dapat mengurangi konsumsi bahan bakar, tetapi tantangan muncul karena sumber daya yang tidak stabil dan profil beban yang bervariasi. Hal ini menyulitkan penjadwalan genset diesel untuk efisiensi tinggi dan mengurangi siklus unit, sehingga diperlukan optimasi ekonomis untuk mengatasi masalah tersebut. Pulau Selayar merupakan salah satu daerah yang menggunakan sistem *hybrid* PLTD dengan 12 unit diesel dan PLTS dengan 1,3 MWp. Salah satu metode optimasi ekonomis yang berkembang saat ini adalah metode *Differential Evolution*. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengetahui efektivitas metode DE dalam penjadwalan ekonomis dan mengurangi biaya bahan bakar unit dalam sistem PLTD dan PLTS Selayar. Metode yang dilakukan adalah dengan menggunakan metode *Differential Evolution* dan kemudian dibandingkan dengan metode optimasi lain yaitu metode *Artificial Bee Colony*. Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan, dengan menggunakan 4 skenario pembebanan minimum dan maksimum diperoleh bahwa metode DE efektif dalam mengurangi biaya bahan bakar dan biaya energi serta dalam penerapan *unit commitment* dibandingkan dengan metode *Artificial Bee Colony* dengan selisih biaya bahan bakar masing-masing sebesar Rp23.243/jam, Rp28.916/jam, Rp41.817/jam, dan Rp118.063/jam. Selain itu, dalam skenario optimasi beban *realtime* dengan metode DE pada hari kerja, akhir pekan, dan hari libur nasional diperoleh penghematan biaya bahan bakar selama 24 jam yaitu secara berurutan Rp9.677.630, Rp11.625.467, dan Rp10.183.506 sehingga optimasi dengan metode DE efektif dalam mengurangi biaya bahan bakar sebesar 3% dibandingkan dengan biaya bahan bakar pada skenario operasi PT. PLN ULPLTD Selayar.

Kata kunci: Listrik, energi, hybrid PLTD dan PLTS, optimasi ekonomis, biaya bahan bakar, *unit commitment*, *differential evolution*, *artificial bee colony*.



ABSTRACT

MUFLIH ZAIN. *Application of Differential Evolution Algorithm on Economic Optimization of the Selayar Hybrid Power System Combining Diesel and Solar Power Plants* (supervised by M. Bachtiar Nappu)

Electricity is one of the most important energy sources in modern life. Operating a power system consisting of multiple generating units incurs significant costs, particularly for fuel in thermal-based power plants, including diesel power plants (PLTD). Mini-grids using diesel power generation have high costs. Integrating renewable energy sources such as photovoltaics (PV) can reduce fuel consumption, but challenges arise due to the intermittent nature of these resources and varying load profiles. This complicates the scheduling of diesel generators for high efficiency and reduced unit cycling, necessitating economic optimization to address these issues. Selayar Island is one of the regions utilizing a hybrid system combining 12 diesel units and a 1.3 MWp PV plant. One of the current economic optimization methods is Differential Evolution (DE). The aim of this research is to determine the effectiveness of the DE method in economic scheduling and reducing fuel costs in the Selayar PLTD and PV hybrid system. The method involves using Differential Evolution and comparing it with another optimization method, the Artificial Bee Colony (ABC) method. Based on the research conducted, using four scenarios of minimum and maximum loading, it was found that the DE method is effective in reducing fuel costs and energy costs as well as in unit commitment application compared to the ABC method, with fuel cost differences of Rp23,243/hour, Rp28,916/hour, Rp41,817/hour, and Rp118,063/hour, respectively. Additionally, in the real-time load optimization scenario with the DE method for weekdays, weekends, and national holidays, fuel cost savings over 24 hours were Rp9,677,630, Rp11,625,467, and Rp10,183,506, respectively. Thus, optimization with the DE method is effective in reducing fuel costs by 3% compared to the fuel costs in the operational scenario of PT. PLN ULPLTD Selayar.

Keywords: Electricity, energy, hybrid diesel and PV power plant, economic optimization, fuel cost, unit commitment, differential evolution, artificial bee colony.



DAFTAR ISI

LEMBAR PENGESAHAN SKRIPSI.....	ii
PERNYATAAN KEASLIAN	iii
KATA PENGANTAR.....	iv
ABSTRAK.....	vii
ABSTRACT.....	viii
DAFTAR ISI.....	ix
DAFTAR GAMBAR	xii
DAFTAR TABEL	xiv
DAFTAR LAMPIRAN	xvi
BAB I PENDAHULUAN.....	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	3
1.3 Tujuan Penelitian.....	3
1.4 Manfaat Penelitian.....	4
1.5 Batasan Masalah.....	4
1.6 Sistematika Penulisan.....	5
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	6
2.1 Sistem Tenaga Listrik.....	6
2.2 Pembangkit Tenaga Listrik.....	7
2.2.1 Pembangkit Listrik Tenaga Diesel.....	8
2.2.2 Prinsip Kerja PLTD Secara Umum.....	9
2.2.3 Komponen-Komponen PLTD.....	9
2.2.4 Karakteristik <i>Input output</i> PLTD	10
2.2.5 Karakteristik Kenaikan Biaya Bahan Operasi	12
2.2.6 <i>Renewable Source</i> (Pembangkit Listrik Tenaga Surya)	12
2.3 Optimasi Pembangkit Listrik.....	13
2.3.1 Pengaturan Penjadwalan Ekonomis (<i>Unit commitment</i>).....	13
2.3.2 Pengaturan Unit Pembangkit (<i>Economic dispatch</i>)	14
2.4 Fungsi Biaya Bahan Bakar	14
ode <i>Least Square</i>	16
ode <i>Differential Evolution</i>	16
ode <i>Artificial Bee Colony</i>	19



2.8	MATLAB	21
2.9	<i>State of the Art</i>	21
BAB III METODE PENELITIAN.....		30
3.1	Waktu dan Lokasi Penelitian	30
3.2	Variabel Penelitian.....	30
3.3	Alat dan Bahan Penelitian	30
3.4	Teknik Pengumpulan Data	30
3.5	Menentukan Fungsi Karakteristik <i>Input output</i> Pembangkit	31
3.6	Menentukan Fungsi Biaya Bahan Bakar Pembangkit Diesel.....	31
3.7	Alur Penelitian.....	32
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN		35
4.1	Gambaran Umum.....	35
4.2	Data ULPLTD Selayar	38
4.2.1	Data Kapasitas Pembangkit.....	38
4.2.2	Data <i>Spesific Fuel Consumption (SFC)</i>	39
4.2.3	Data <i>Input Output</i> Pembangkit.....	41
4.2.4	Fungsi Karakteristik <i>Input output</i> Pembangkit	44
4.2.5	Fungsi Biaya Bahan Bakar	48
4.3	Optimasi Beban Minimum dengan PLTS Minimum	50
4.3.1	Semua Unit <i>Available</i>	51
4.3.2	4 Unit <i>Available</i>	52
4.4	Optimasi Beban Maksimum dengan PLTS Minimum	54
4.4.1	Semua Unit <i>Available</i>	54
4.4.2	9 Unit <i>Available</i>	56
4.5	Optimasi Beban Minimum dengan PLTS Maksimum	58
4.5.1	Semua Unit <i>Available</i>	59
4.5.2	3 Unit <i>Available</i>	61
4.6	Optimasi Beban Maksimum dengan PLTS Maksimum	63
4.6.1	Semua Unit <i>Available</i>	63
4.6.2	5 Unit <i>Available</i>	65
4.7	Optimasi <i>Realtime</i> 24 Jam.....	67
	Optimasi Hari Kerja	67
	Optimasi Akhir Pekan	73
	Optimasi Hari Libur	79



BAB V KESIMPULAN DAN SARAN.....87
 5.1 Kesimpulan87
 5.2 Saran88
DAFTAR PUSTAKA89
LAMPIRAN92



DAFTAR GAMBAR

Gambar 1. Sistem Tenaga Listrik	6
Gambar 2. Sistematika PLTD	8
Gambar 3. Kurva Input Output Pembangkit.....	11
Gambar 4. Diagram Alir Penelitian	33
Gambar 5. Diagram alir metode <i>Differential Evolution</i>	34
Gambar 6. Peta Geografis Kepulauan Selayar	36
Gambar 7. Load profil sistem Selayar	38
Gambar 8. Diagram kartesian fungsi karakteristik input output BV 1	44
Gambar 9. Diagram kartesian fungsi karakteristik input output BV 2	44
Gambar 10. Diagram kartesian fungsi karakteristik input output BV 3	45
Gambar 11. Diagram kartesian fungsi karakteristik input output BV 5	45
Gambar 12. Diagram kartesian fungsi karakteristik input output DHS	45
Gambar 13. Diagram kartesian fungsi karakteristik input output CMS 1	46
Gambar 14. Diagram kartesian fungsi karakteristik input output CMS 2	46
Gambar 15. Diagram kartesian fungsi karakteristik input output CMS 3	46
Gambar 16. Diagram kartesian fungsi karakteristik input output MTS 1	47
Gambar 17. Diagram kartesian fungsi karakteristik input output MTS 2	47
Gambar 18. Diagram kartesian fungsi karakteristik input output MTS 3	47
Gambar 19. Grafik Fungsi Biaya Bahan Bakar	49
Gambar 20. Grafik Kenaikan Biaya Bahan Bakar.....	50
Gambar 21. Grafik perbandingan hasil optimasi beban minimum dan PLTS minimum dengan 11 unit available	52
Gambar 22. Grafik perbandingan hasil optimasi beban minimum dan PLTS minimum dengan 4 unit available	54
Gambar 23. Grafik perbandingan hasil optimasi beban maksimum dan PLTS minimum dengan 11 unit available	56
Gambar 24. Grafik perbandingan hasil optimasi beban maksimum dan PLTS minimum dengan 9 unit available	58
Gambar 25. Grafik perbandingan hasil optimasi beban minimum dan PLTS minimum dengan semua unit available.....	61
Gambar 26. Grafik perbandingan hasil optimasi beban maksimum dan PLTS minimum dengan 4 unit available	63



Gambar 27. Grafik perbandingan hasil optimasi beban maksimum dan PLTS maksimum dengan semua unit available.....	65
Gambar 28. Grafik perbandingan hasil optimasi beban maksimum dan PLTS maksimum dengan 5 unit available.....	67
Gambar 29. Grafik perbandingan biaya bahan bakar sebelum dan sesudah optimasi pada hari kerja	73
Gambar 30. Grafik perbandingan biaya bahan bakar sebelum dan sesudah optimasi pada akhir pekan.....	79
Gambar 31. Grafik perbandingan biaya bahan bakar sebelum dan sesudah optimasi pada hari libur.....	85



DAFTAR TABEL

Tabel 1. <i>State of the Art</i>	22
Tabel 2. Unit pembangkitan PLTD dan PLTS Selayar	37
Tabel 3. Skenario Optimasi	37
Tabel 4. Data Kapasitas Pembangkit	38
Tabel 5. Specific Fuel Consumption (SFC).....	40
Tabel 6. Data Input Output Pembangkit	42
Tabel 7. Fungsi Karakteristik Input Output Pembangkit.....	48
Tabel 8. Fungsi Biaya Bahan Bakar	48
Tabel 9. Optimasi beban 2,7 MW dengan Semua Unit Available	51
Tabel 10. Rekapitulasi Hasil Optimasi Beban 2,7 MW dengan Semua Unit Available	52
Tabel 11. Optimasi beban 2,7 MW dengan 4 Unit Available	53
Tabel 12. Rekapitulasi Hasil Optimasi Beban 2,7 MW dengan 4 Unit Available	53
Tabel 13. Optimasi beban 7,85 MW dengan Semua Unit Available	55
Tabel 14. Rekapitulasi Hasil Optimasi Beban 7,85 MW dengan Semua Unit Available	56
Tabel 15. Optimasi beban 7,85 MW dengan 9 Unit Available	57
Tabel 16. Rekapitulasi Hasil Optimasi Beban 7,85 MW dengan 9 Unit Available	58
Tabel 17. Optimasi beban 2,64 MW dan PLTS 1 MW dengan Semua Unit Available	59
Tabel 18. Rekapitulasi Hasil Optimasi Beban 2,64 MW dan PLTS 1 MW dengan Semua Unit Available.....	60
Tabel 19. Optimasi beban 2,64 MW dan PLTS 1 MW dengan 4 Unit Available .	61
Tabel 20. Rekapitulasi Hasil Optimasi Beban 2,64 MW dan PLTS 1 MW dengan 3 Unit Available.....	62
Tabel 21. Optimasi beban 5,25 MW dan PLTS 1 MW dengan Semua Unit Available	64
Tabel 22. Rekapitulasi Hasil Optimasi Beban 5,25 MW dan PLTS 1 MW dengan Semua Unit Available.....	64
Tabel 23. Optimasi beban 5,25 MW dan PLTS 1 MW dengan 5 Unit Available .	65
Tabel 24. Rekapitulasi Hasil Optimasi Beban 5,25 MW dan PLTS 1 MW dengan Semua Unit Available.....	66



Tabel 25. Data Beban dan Daya PLTS Tanggal 20 Januari 2024	68
Tabel 26. Konfigurasi Pembebanan Tiap Unit Sebelum dan Sesudah Optimasi pada Hari Kerja	69
Tabel 27. Biaya Bahan Bakar Sebelum dan Sesudah Optimasi pada Hari Kerja .	72
Tabel 28. Data Beban dan Daya PLTS Tanggal 28 Januari 2024	74
Tabel 29. Konfigurasi Pembebanan Tiap Unit Sebelum dan Sesudah Optimasi pada Akhir Pekan	75
Tabel 30. Biaya Bahan Bakar Sebelum dan Sesudah Optimasi pada Akhir pekan	78
Tabel 31. Data Beban dan Daya PLTS Tanggal 1 Januari 2024	80
Tabel 32. Konfigurasi Pembebanan Tiap Unit Sebelum dan Sesudah Optimasi pada Hari Libur	81
Tabel 33. Biaya Bahan Bakar Sebelum dan Sesudah Optimasi pada Hari Libur .	84
Tabel 34. Cost of Energy Pada Optimasi Realtime 24 Jam	86



DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1. Harga Bahan Bakar Minyak (BBM) yang Dikeluarkan oleh PLN .	92
Lampiran 2. Data Operasional Beban Tiap Unit PT. PLN ULPLTD Selayar Desember 2023.....	93
Lampiran 3. Data Operasional Beban Tiap Unit PT. PLN ULPLTD Selayar Januari 2024.....	94
Lampiran 4. Data Produksi Daya PLTS Selayar Desember 2023	95
Lampiran 5. Hasil Optimasi pada Software MATLAB.....	96



BAB I PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Listrik merupakan salah satu sumber energi terpenting dalam kehidupan modern. Listrik saat ini sudah menjadi kebutuhan pokok bagi masyarakat dan industri. Hampir semua peralatan yang dekat dengan kehidupan manusia selalu membutuhkan listrik.

Masyarakat mengonsumsi listrik yang disuplai oleh berbagai unit pembangkit listrik yang saling terhubung. Unit-unit pembangkit ini membentuk sistem tenaga listrik yang disebut sebagai kesatuan interkoneksi. Untuk menjalankan operasi sistem tenaga listrik, diperlukan biaya yang cukup besar. Biaya operasi sistem tenaga listrik meliputi biaya pembelian tenaga listrik, biaya pegawai, biaya bahan bakar, dan biaya material operasi (Himmah, 2013).

Menurut data RUPTL 2021-2030 yang dikeluarkan oleh PLN, estimasi kenaikan jumlah pelanggan untuk wilayah Sulawesi mencapai 1,4 juta pelanggan per tahun 2025 (PLN, 2021). Kenaikan jumlah pelanggan ini mengakibatkan konsumsi energi listrik juga meningkat sehingga permintaan daya listrik harus terpenuhi. Kenaikan permintaan daya listrik mengakibatkan kebutuhan bahan bakar untuk pembangkitan listrik yang juga akan besar tetapi dengan harga seoptimal mungkin. Selain dari segi harga yang optimal, sistem tenaga listrik harus memenuhi aspek keamanan dan keandalan sehingga indikator-indikator yang menunjang hal tersebut harus tetap terpenuhi.

Mengoperasikan banyak unit pembangkit dalam satu pusat pembangkit membutuhkan manajemen yang baik, terutama dalam mengatur beban dan kapasitas daya yang harus diberikan oleh setiap unit atau seluruh pusat pembangkit untuk sistem. Dengan pengaturan yang baik dalam pengoperasian ini, efisiensi ekonomis dapat dicapai, yang berarti mengurangi biaya produksi energi, terutama bahan bakar (Idris, 2016).



angkit Listrik Tenaga Diesel (PLTD) merupakan unit pembangkit termal yang banyak mengonsumsi bahan bakar. PLTD sering digunakan pada sistem kelistrikannya terisolasi dari sistem utamanya sehingga untuk

memenuhi kebutuhan listrik di daerah tersebut maka digunakan PLTD sebagai sumber listrik utama. Akan tetapi, dalam upaya untuk memenuhi kebutuhan tersebut, PLTD sering menjadi sorotan karena dari segi biaya operasional memerlukan biaya yang relatif tinggi terutama untuk biaya bahan bakar.

Pulau Selayar merupakan salah satu daerah yang menggunakan PLTD sebagai sumber listrik untuk memenuhi kebutuhan beban masyarakatnya. Pulau selayar ini tercatat memiliki 12 unit generator diesel yang dioperasikan untuk memenuhi kebutuhan listrik dengan beban puncak sekitar 7,85 MW. Pada tahun 2022, PLN mengoperasikan PLTS dengan kapasitas 1,3 MWp di daerah selayar untuk dijalankan secara hibrid dengan PLTD untuk menekan biaya operasional terutama biaya bahan bakar yang dikonsumsi oleh PLTD (Indrawan, 2022).

Listrik dalam sistem yang berdiri sendiri (*mini-grid*) biasanya disediakan oleh pembangkit listrik tenaga diesel dengan biaya yang relatif tinggi. Integrasi sumber energi terbarukan seperti fotovoltaik (PV) dapat membantu mengurangi konsumsi bahan bakar. Namun, karena karakteristik sumber daya yang intermiten dan berfluktuasi, dan profil beban yang sangat bervariasi yang khas dari masyarakat dengan sistem kelistrikan yang terisolasi, penjadwalan genset diesel untuk operasi dengan efisiensi tinggi dan siklus unit yang berkurang menjadi lebih sulit sehingga diperlukan optimasi ekonomis untuk mengatasi hal tersebut (Bachi, 2012).

Tujuan dari operasi ekonomis adalah untuk merencanakan dan mengatur produksi daya dari setiap pembangkit dalam sistem tenaga guna memenuhi permintaan daya dengan biaya produksi seminimal mungkin, sambil tetap memberikan pelayanan kepada konsumen. Dalam menyediakan daya untuk beban tertentu, perhitungan difokuskan pada jumlah daya yang harus dihasilkan oleh setiap unit pembangkit agar tercapai distribusi daya yang ekonomis, yang juga dikenal sebagai *Economic dispatch* (Alhamdani dkk, 2019).

Telah dilakukan banyak penelitian untuk menyelesaikan masalah optimasi *Economic dispatch*. Metode yang digunakan dalam penelitian ini adalah *Differential Evolution* (DE). Algoritma ini diperkenalkan oleh Storn dkk. pada

2002 dan terinspirasi dari evolusi biologis. DE mempertahankan individu yang baik dengan lingkungan melalui beberapa iterasi. Namun, DE memiliki beberapa kelemahan dibandingkan dengan algoritma evolusi lainnya karena



mempertahankan strategi pencarian global berdasarkan populasi, menggunakan pemrograman bilangan real, operasi mutasi sederhana berdasarkan perbedaan, dan strategi kelangsungan hidup satu lawan satu yang mengurangi kompleksitas operasi genetik.

Dari penjelasan diatas, maka dari itu dilakukan penelitian Tugas Akhir yang berjudul “PENERAPAN ALGORITMA *DIFFERENTIAL EVOLUTION* PADA OPTIMASI EKONOMIS SISTEM KELISTRIKAN *HYBRID* PLTD DAN PLTS SELAYAR”. Diharapkan dari penelitian ini, dapat menjadi referensi untuk mengoptimalkan biaya operasi khususnya biaya bahan bakar pada sistem pembangkitan tenaga listrik.

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang tersebut, maka dapat dirumuskan permasalahan sebagai berikut:

1. Bagaimana melakukan optimasi ekonomis dengan biaya bahan bakar seminimal mungkin pada Pembangkit *hybrid* PLTD dan PLTS Selayar dengan menerapkan metode *Differential Evolution* (DE)?
2. Bagaimana perbandingan biaya bahan bakar dalam hasil optimasi ekonomis Pembangkit *hybrid* PLTD dan PLTS Selayar antara metode *Differential Evolution* (DE) dengan metode optimasi lain (*Artificial Bee Colony*) ?
3. Bagaimana efektivitas metode *Differential Evolution* (DE) dalam penjadwalan ekonomis Pembangkit *hybrid* PLTD dan PLTS Selayar?

1.3 Tujuan Penelitian

Berdasarkan rumusan masalah, adapun tujuan yang ingin dicapai pada penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. Untuk melakukan optimasi ekonomis dengan biaya bahan bakar seminimal mungkin pada Pembangkit *hybrid* PLTD dan PLTS Selayar dengan menerapkan metode *Differential Evolution* (DE).



2. Mengevaluasi perbandingan biaya bahan bakar dalam hasil optimasi ekonomis Pembangkit *hybrid* PLTD dan PLTS Selayar antara metode *Differential Evolution* (DE) dengan metode optimasi lain (*Artificial Bee Colony*).
3. Menguji efektifitas metode *Differential Evolution* (DE) dalam penjadwalan ekonomis Pembangkit *hybrid* PLTD dan PLTS Selayar.

1.4 Manfaat Penelitian

Manfaat dari penelitian ini adalah:

1. Memberikan referensi mengenai penjadwalan ekonomis dengan biaya bahan bakar seminimal mungkin pada suatu unit pembangkit.
2. Memberikan referensi mengenai penerapan metode *Differential Evolution* dalam penjadwalan ekonomis pembangkit.
3. Sebagai bahan perbandingan akademisi maupun praktisi dalam perencanaan optimasi operasi pembangkit.
4. Dapat menjadi referensi untuk penelitian selanjutnya sehubungan dengan penjadwalan ekonomis pembangkit listrik termal.

1.5 Batasan Masalah

Dalam menyelesaikan masalah dalam penelitian ini, terdapat batasan-batasan masalah sebagai berikut :

1. Data yang digunakan untuk optimasi ekonomis pembangkit menggunakan data real dari Pembangkit *hybrid* PLTD dan PLTS Selayar.
2. Penelitian ini memperhitungkan biaya bahan bakar ekonomis
3. Perhitungan dan simulasi menggunakan software MATLAB.
4. Metode yang digunakan dalam penyelesaian permasalahan yaitu metode *Differential Evolution* (DE).

Metode untuk perbandingannya menggunakan metode *Artificial Bee Colony*.

Optimasi tidak memperhitungkan rugi-rugi dan *rump rate* pembangkit.



7. Sistem *smart grid* pada hybrid PLTD dan PLTS Selayar tidak dipertimbangkan sehingga daya output PLTS hanya digunakan sebagai pengurang dari total keseluruhan beban yang digunakan.

1.6 Sistematika Penulisan

Berikut merupakan sistematika penulisan tugas akhir pada penelitian ini:

PENDAHULUAN

BAB I Bab ini membahas tentang latar belakang, rumusan masalah, tujuan penelitian, manfaat penelitian, batasan masalah, dan sistematika penulisan tugas akhir.

TINJAUAN PUSTAKA

BAB II Bab ini membahas terkait materi-materi yang berhubungan dengan penelitian, materi tersebut diambil dari berbagai referensi.

METODE PENELITIAN

BAB III Bab ini membahas tentang waktu dan lokasi penelitian, alat dan bahan yang digunakan, serta tahapan dalam melakukan penelitian.

ANALISIS DAN PEMBAHASAN

BAB IV Bab ini membahas tentang data penelitian, hasil simulasi penelitian, serta perbandingan penelitian dengan metode lain.

KESIMPULAN DAN SARAN

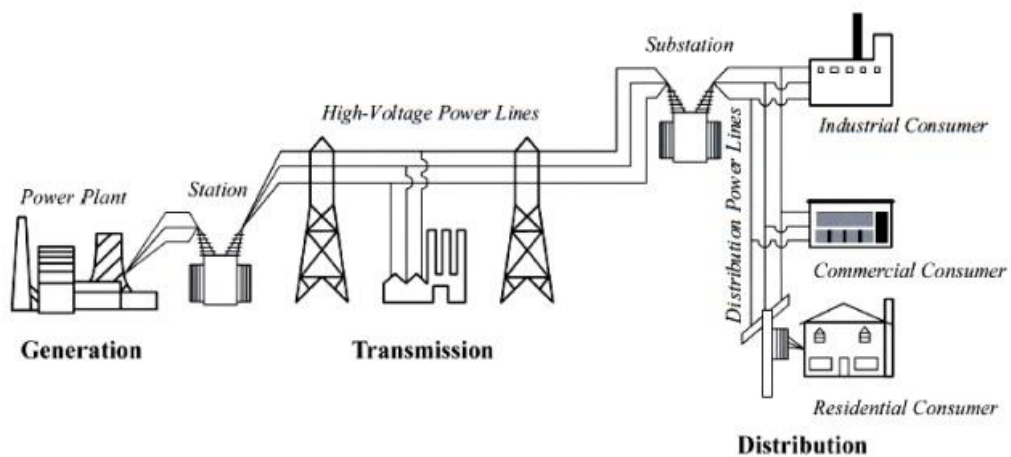
V Bab ini membahas tentang kesimpulan dari penelitian dan saran-saran untuk penelitian selanjutnya.



BAB II TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Sistem Tenaga Listrik

Sistem tenaga listrik terdiri dari rangkaian komponen dan perangkat listrik yang saling terhubung, seperti generator, transformator, jaringan transmisi, saluran distribusi, dan beban. Semua komponen ini saling terhubung untuk membentuk suatu kesatuan sistem yang menyediakan listrik (Syahputra, 2016).



Gambar 1. Sistem Tenaga Listrik

Fungsi dari komponen-komponen dalam sistem tenaga listrik adalah sebagai berikut (Suripto, 2017):

a. Pembangkit Tenaga Listrik

Unit pembangkit listrik terdiri dari generator yang menggunakan turbin untuk menghasilkan listrik. Fungsinya adalah mengubah energi primer dari berbagai sumber seperti air, batu bara, panas bumi, atau minyak bumi menjadi energi listrik. Pada sistem pembangkitan, level tegangan disesuaikan dengan spesifikasi dan kapasitas generator pembangkit yang digunakan, biasanya berkisar antara 4,5 s/d 20 kV.

b. Sistem Transmisi Tenaga Listrik

agian sistem tenaga listrik yang berupa jalur konduktor yang diletakkan di antara sumber pembangkit dan gardu induk pusat beban atau antar gardu duk disebut saluran transmisi. Fungsinya adalah untuk mengalirkan daya



atau energi listrik dari pusat pembangkitan menuju gardu induk pusat beban atau antar gardu induk. Tegangan saluran transmisi umumnya berkisar antara 70 kV s/d 1000 kV. Saluran transmisi dengan tegangan 500 kV atau lebih akan lebih ekonomis jika digunakan untuk menyalurkan daya yang cukup besar dan jarak pengiriman yang cukup jauh.

c. Gardu Induk

Gardu induk merupakan bagian dari sistem tenaga listrik yang terdiri dari peralatan pemutus dan penghubung tenaga listrik, serta transformator penurun tegangan. Gardu induk ditempatkan di antara saluran transmisi dan jaringan distribusi. Fungsinya adalah mengontrol arus tenaga listrik serta menyesuaikan tegangan sistem.

d. Sistem Distribusi Tenaga Listrik

Jaringan distribusi listrik adalah bagian dari sistem tenaga listrik yang terdiri dari penghantar yang ditempatkan dari gardu induk hingga area tempat pelanggan. Fungsinya adalah menyebarkan energi listrik dari gardu induk pusat beban ke lokasi konsumen atau pelanggan listrik. Level tegangan jaringan distribusi yang sering digunakan ada dua macam, yaitu jaringan tegangan menengah (JTM) 20 kV dan jaringan tegangan rendah (JTR) 380/220 V.

2.2 Pembangkit Tenaga Listrik

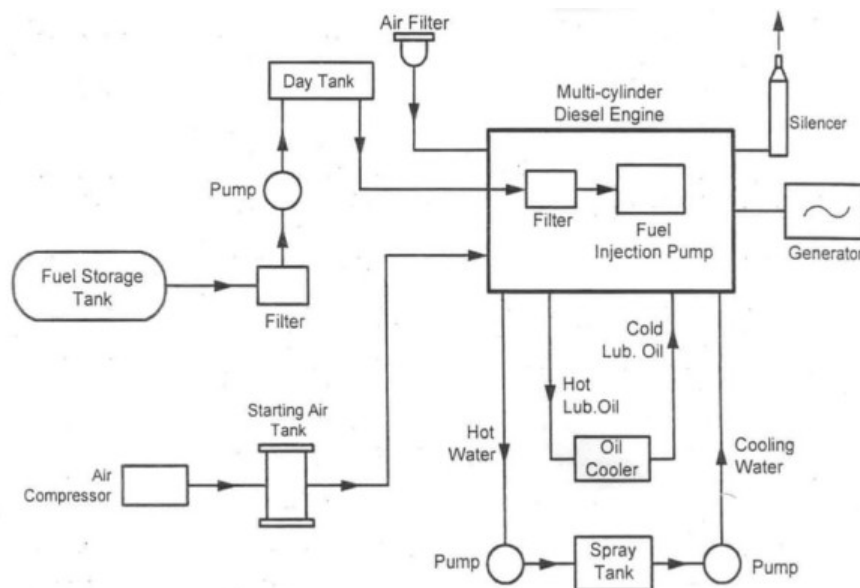
Pusat pembangkit tenaga listrik dapat dikelompokkan menjadi dua jenis, yaitu konvensional dan non-konvensional. Pembangkit konvensional mencakup Pembangkit Listrik Tenaga Air (PLTA) dan Pembangkit Listrik Tenaga Termal (PLTT). Pembangkit tenaga termal mencakup Pembangkit Listrik Tenaga Uap (PLTU), Pembangkit Listrik Tenaga Gas (PLTG), Pembangkit Listrik Tenaga Diesel (PLTD), Pembangkit Listrik Tenaga Nuklir (PLTN), dan Pembangkit Listrik Tenaga Panas Bumi (PLTP). Di sisi lain, pembangkit tenaga listrik non-konvensional meliputi Pembangkit Listrik Tenaga Angin, Pembangkit Listrik Tenaga Matahari, Pembangkit Listrik Tenaga Pasang Surut Air Laut, *Ocean Thermal Energy Conversion* (OTEC), *Magneto Hydro Dynamic* (MHD), dan lain sebagainya (Sugeng, 2016).



2.2.1 Pembangkit Listrik Tenaga Diesel

Pembangkit listrik tenaga diesel merupakan jenis pembangkit listrik yang menggunakan minyak bumi, khususnya solar, sebagai sumber energi untuk memenuhi kebutuhan listrik. Mesin diesel pada pembangkit ini memiliki ruang pembakaran yang ledakannya menggerakkan piston, yang kemudian mengubah energi tersebut menjadi energi gerak melalui poros engkol. Energi gerak yang dihasilkan akan digunakan untuk memutar rotor generator, yang selanjutnya dikonversikan menjadi energi listrik (Putra, 2019).

PLTD memiliki beberapa keunggulan, seperti desain dan instalasi yang sederhana, serta dapat memulai dengan cepat ketika dimuat beban sehingga dapat menanggapi berbagai beban tanpa kesulitan. Selain itu, PLTD dapat mengurangi kebutuhan pendingin air dibandingkan dengan PLTA yang memerlukan investasi yang mahal. Namun, PLTD juga memiliki kelemahan, seperti biaya pemeliharaan dan operasi yang tinggi sehingga keandalannya tidak dapat bertahan lama, tingkat kebisingan yang tinggi, dan emisi yang tidak sehat yang dapat menyebabkan polusi yang signifikan dan berdampak negatif pada lingkungan sekitar (Raja dan Srivastava, 2006). Sistematika PLTD dapat dilihat pada Gambar 2 berikut ini:



Gambar 2. Sistematika PLTD



2.2.2 Prinsip Kerja PLTD Secara Umum

Secara umum, skema pada Gambar 2 diatas dapat dijelaskan sebagai berikut: *Engine* merupakan komponen utama untuk memutar generator yang kemudian menghasilkan listrik yang dihubungkan ke trafo dan gardu listrik. Untuk melakukan pembakaran agar dapat memberikan hasil yang optimal pada *engine*, maka dibutuhkan oksigen dari udara pada lingkungan sekitar. Sehingga peran *air filter* yang fungsinya untuk menyaring udara yang masuk ke *engine*. *Heat exchanger* adalah sistem pendingin minyak pelumas, dimana air digunakan sebagai sarana pendingin.

2.2.3 Komponen-Komponen PLTD

Beberapa komponen yang terdapat pada PLTD (Rosyid dan Krisnadi, 2020), yaitu:

1. Mesin

Mesin adalah sumber energi mekanik yang masuk ke generator. Output daya maksimum yang dapat dihasilkan oleh generator berbanding lurus dengan ukuran mesin. Saat menilai mesin generator Anda, ada beberapa faktor yang perlu diperhatikan, seperti pabrikan mesin yang harus mengkonfirmasi spesifikasi mesin kepada konsumen, jam operasional maksimum, dan jadwal perawatan mesin. Spesifikasi mesin dapat dilihat dari name plate yang terpasang di mesin generator.

2. Generator

Generator menghasilkan output listrik dari input mekanis yang dipasok oleh mesin. Bagian Ini berisi kumpulan bagian stasioner dan bagian yang bergerak yang terbungkus dalam *frame*. Komponen-komponen tersebut bekerja bersama-sama untuk menyebabkan terjadinya pergerakan relatif antara medan magnet dan listrik, yang pada akhirnya menghasilkan arus listrik. Generator memiliki identitas yang membedakannya dari generator lainnya, seperti halnya mesin yang memiliki pelat nama. Pelat nama tersebut tidak hanya berfungsi sebagai identitas generator, tetapi



berikan informasi mengenai spesifikasi generator itu sendiri.

stem Bahan Bakar

Sistem bahan bakar pada PLTD menggunakan tangki yang memiliki berbagai kapasitas sesuai dengan kapasitas dari PLTD itu sendiri. PLTD yang memiliki kapasitas besar biasanya memiliki 2 tangki penyimpanan bahan bakar yang biasa disebut tangki harian dan tangki bulanan.

4. Sistem Pembuangan Gas

Asap yang dihasilkan oleh knalpot PLTD mengandung bahan kimia beracun yang harus ditangani dengan hati-hati. Oleh karena itu, sangat penting untuk memasang sistem pembuangan yang memadai untuk mengeluarkan gas buang tersebut. Pipa knalpot biasanya terbuat dari besi atau baja dan harus ditempatkan di tempat yang bebas dan jauh dari mesin PLTD. Pipa knalpot biasanya terhubung dengan mesin menggunakan konektor fleksibel untuk mengurangi getaran dan mencegah kerusakan pada sistem pembuangan PLTD.

5. Sistem Pelumas

PLTD terdiri dari bagian yang bergerak terutama pada mesinnya, diperlukan sistem pelumasan untuk memastikan daya tahan dan kelancaran operasi dalam jangka waktu yang lama. Mesin PLTD dilumasi dengan minyak yang tersimpan di pompa. Harus dilakukan pemeriksaan tingkat minyak pelumas setelah PLTD di gunakan. Juga harus memeriksa kebocoran pelumas dan mengganti oli pelumas sesuai jadwal pemeliharaan.

2.2.4 Karakteristik *Input output* PLTD

Dalam analisis masalah terkait pengoperasian sistem tenaga listrik, terdapat beberapa parameter yang perlu diperhatikan. Salah satu parameter penting dalam pengoperasian secara ekonomis adalah karakteristik masukan dan keluaran satuan pembangkit listrik termal. Masukan yang dimaksud adalah bahan bakar yang diukur dalam satuan kCal/jam, sedangkan keluaran yang dihasilkan adalah daya listrik P MW. Selain itu, terdapat juga daya minimum dan daya maksimum yang perlu diperhatikan. Batas minimum beban ditentukan oleh stabilitas pembakaran bahan bakar dan kendala-kendala desain mesin.



Untuk unit termal, karakteristik input-output adalah penggunaan bahan bakar, fungsi daya yang dihasilkan atau fungsi biaya operasi. Satuan konsumsi energi generator adalah Btu per jam panas yang dimasukkan ke unit (atau

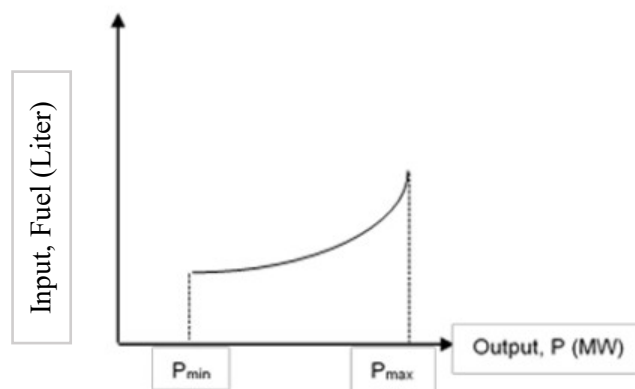
MBtu/jam). Tarif biaya bahan bakar dikalikan dengan Btu/jam adalah Rp per jam (Rp/jam) yang digunakan untuk memasok bahan bakar ke unit. Output dari unit pembangkit akan disimbolkan dengan PG, yaitu daya bersih output dalam megawatt dari unit tersebut (Zhu, 2015).

Setiap unit pembangkit memiliki karakteristik fungsi biaya yang berbeda-beda tergantung pada jenis bahan bakar dan jenis pembangkit yang digunakan dalam operasinya. Efisiensi unit pembangkit termis dapat dilihat dari karakteristik laju konsumsi bahan bakar terhadap daya keluaran. Laju konsumsi bahan bakar unit pembangkit pada dasarnya mencerminkan besarnya biaya yang harus dikeluarkan untuk menghasilkan daya keluaran per-MegaWatt (MW) oleh unit pembangkit tersebut (Duri, 2023). Karakteristik *input output* pembangkit termal adalah karakteristik yang menggambarkan hubungan antara input bahan bakar (liter/jam) dan output yang dihasilkan oleh pembangkit adalah daya (MW). Berikut ini karakteristik *input output* pembangkit dapat digunakan fungsi polinomial orde dua, sebagai berikut:

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

- F_t : Biaya bahan bakar total (Rp/jam)
 i : Masing-masing unit pembangkit
 C_i : Input bahan bakar PLTD ke-i (Liter/jam)
 P_i : Daya pada unit i (MW)

Kurva *input output* dari pembangkit listrik termal secara umum dapat dilihat pada Gambar 3 berikut ini:



Gambar 3. Kurva Input Output Pembangkit



2.2.5 Karakteristik Kenaikan Biaya Bahan Operasi

Karakteristik kenaikan biaya atau disebut juga karakteristik laju kenaikan panas merupakan kemiringan (*slope*) karakteristik input dan output. Pada karakteristik ini ditunjukkan nilai Btu per kWh atau Rp/kWh terhadap daya keluaran dalam satuan MW. Karakteristik ini lebih lanjut digunakan untuk perhitungan pembebanan ekonomis dari unit pembangkit. Jika persamaan input-output unit pembangkit dinyatakan dalam pendekatan (aproksimasi) dengan menggunakan persamaan kuadrat, maka karakteristik kenaikan biaya akan mempunyai bentuk garis lurus. Biasanya biaya operasi genset bahan bakar fosil ditandai dengan jumlah energi per satuan volume dan diukur dalam BTU / Liter (British thermal unit) BTU didefinisikan sebagai: British Thermal Unit - Jumlah panas (energi) yang dibutuhkan untuk menaikkan suhu 1 pon air sebesar 1 derajat Fahrenheit (Çengel dkk, 2017)

Tingkat konsumsi didefinisikan sebagai jumlah bahan bakar yang digunakan untuk menghasilkan sejumlah energi tertentu. Secara kimiawi 1 liter bahan bakar diesel dapat menghasilkan energi hingga 10,7 kWh atau 34,47 kBTU dan rasio ini disebut densitas energi (kWh/L) (Tyson, 2006). Lembar data produsen genset diesel biasanya memberikan nilai konsumsi relatif terhadap 25, 50, 75, dan 100% beban penuh. Persamaan biaya biasanya didefinisikan dalam BTU dan dapat dihitung dari nilai konsumsi bahan bakar yang terdapat dalam lembar data.

2.2.6 Renewable Source (Pembangkit Listrik Tenaga Surya)

Penggunaan sumber energi terbarukan seperti fotovoltaik (PV) memiliki potensi besar untuk mengurangi biaya dan konsumsi bahan bakar sistem tenaga listrik jarak jauh serta emisi gas rumah kaca. Pada prinsipnya, penggabungan sumber energi terbarukan ke dalam sistem berbasis diesel relatif sederhana dan mereka beroperasi sebagai unit pembangkit pasif, tanpa partisipasi dalam strategi kontrol jaringan (Messenger dan Ventre, 2010).



salah utama dalam sumber daya terbarukan adalah variasi daya yang tinggi tu hari (radiasi matahari yang bervariasi) dan variasi energi yang tinggi satu musim (musim panas/musim dingin) yang mempengaruhi

penyeimbangan daya dan konsumsi bahan bakar saat digabungkan ke dalam sistem jaringan diesel (Bachi, 2012).

2.3 Optimasi Pembangkit Listrik

Proses optimasi unit pembangkit adalah proses penjadwalan beban total suatu sistem kepada masing-masing pusat pembangkit dengan tujuan untuk mencapai biaya pengoperasian yang minimal dan kinerja pembangkit yang optimal. Dalam proses ini, seluruh pembangkit dalam sistem akan terus-menerus dikontrol agar dapat menghasilkan pembangkitan yang optimal dengan biaya ekonomis, tanpa mengabaikan kendala-kendala yang ada pada unit pembangkit. Terdapat dua pertimbangan utama dalam optimasi unit pembangkit pada sistem tenaga, yaitu *Unit commitment* dan *economic dispatch* (Wahyu dkk., 2022).

2.3.1 Pengaturan Penjadwalan Ekonomis (*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. Penjadwalan ini biasanya ditentukan berdasarkan permintaan beban manusia yang selalu berubah-ubah tiap waktunya. 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 penyalaan unit pembangkitan. Di beberapa kasus konfigurasi jaringan transmisi juga dipertimbangkan, hal ini karena jaringan transmisi akan mengatur aliran daya maksimum yang dapat mengalir pada suatu saluran (Arindra dkk, 2016).

Kombinasi unit pembangkit merupakan kombinasi *on/off* dari beberapa unit yang ada dalam sistem. Dari n buah unit pembangkit, jumlah kombinasi *on/off* nya adalah 2^n buah, dari kombinasi *on/off* unit pembangkit akan dipilih kombinasi mana yang akan dijadwalkan. Evaluasi pemilihan dilakukan dengan menghitung biaya pembangkitan (*economic dispatch*) untuk setiap kombinasi *on/off* unit pembangkit pada beban tertentu.



2.3.2 Pengaturan Unit Pembangkit (*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 (Duri, 2023). Dalam rangka memenuhi suatu beban tertentu, fokus utamanya adalah menentukan berapa besar daya yang harus dihasilkan oleh masing-masing unit pembangkit agar mencapai pembangkitan secara ekonomis, yang sering disebut sebagai *Economic dispatch* (ED).

Fungsi *economic dispatch* (ED) biasanya diimplementasikan pada pengendali pembangkit listrik tenaga diesel dan menetapkan daya yang keluar dari setiap genset untuk mengurangi total biaya pembangkitan. Kegiatan ini sering dilakukan setiap menit di setiap pusat kendali atau *Independent System Operator* (ISO) (Bhattacharya dkk, 2012). Kurva biaya genset dapat dimodelkan sebagai fungsi polinomial. Biaya tambahan yang sama adalah kriteria yang digunakan untuk menyelesaikan masalah ED tradisional (Wood dkk, 2013).

2.4 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). Unit pembangkitan dapat dilakukan optimasi pengoperasian dengan memahami perbedaan karakteristik dari seluruh pembangkit. Secara umum, karakteristik input dan output unit pembangkitan diselesaikan dengan menggunakan fungsi polinomial orde dua yaitu sebagaimana ditunjukkan pada persamaan berikut (Khamsawang dkk, 2009):

$$F_i(P_i) = a_i P_i^2 + b_i P_i + c_i \quad (2)$$



: Biaya bahan bakar unit i (Rp/jam)

: Masing-masing unit pembangkit

$a_i, b_i, \text{ dan } c_i$: Koefisien bahan bakar dari unit i

P_i : Daya pada unit i (MW)

Sehingga biaya total pembangkitan untuk seluruh unit pembangkit dapat direpresentasikan sebagai persamaan di bawah. 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 (Bachi, 2012):

$$F_t = \sum_{i=1}^n S_i F_i(P_i) \quad (3)$$

Sehingga

$$\min F_t = \sum_{i=1}^n (a_i P_i^2 + b_i P_i + c_i) \quad (4)$$

Mempertimbangkan

$$P_{i \min} < P_i < P_{i \max} \quad (5)$$

$$P_{plant} - \sum_{i=1}^M P_i = 0 \quad (6)$$

Dimana:

S_i : Istilah boolean, 1 saat genset menyala dan 0 saat genset mati

P_{plant} : $P_{load} - P_{PV}$

Proses untuk mendapatkan persamaan karakteristik input-output pembangkit berdasarkan data operasi adalah sebagai berikut (Risnawati dan Ulinuha, 2020):

1. Mencatat jumlah pemakaian bahan bakar C_i untuk menghasilkan daya listrik sebesar P_i .



Langkah ini mengulangi langkah pertama untuk data selanjutnya.

Data yang diperoleh kemudian diolah dengan menggunakan *least square* method.

2.5 Metode *Least Square*

Untuk menentukan parameter a_i , b_i , c_i , diperlukan data yang terkait dengan input bahan bakar C_i dan output pembangkit P_i . Data ini kemudian dapat diproses menggunakan metode kuadrat terkecil (*least square method*). Berikut ini konstanta persamaan menggunakan metode kuadrat terkecil (*least square method*):

$$N\alpha + \beta \sum P_i + \gamma \sum P_i^2 = \sum C_i \quad (7)$$

$$\alpha \sum P_i + \beta \sum P_i^2 + \gamma \sum P_i^3 = \sum P_i C_i \quad (8)$$

$$\alpha \sum P_i^2 + \beta \sum P_i^3 + \gamma \sum P_i^4 = \sum P_i^2 C_i \quad (9)$$

Kemudian diubah menjadi bentuk matriks, seperti berikut:

$$\begin{pmatrix} n & \sum P_i & \sum P_i^2 \\ \sum P_i & \sum P_i^2 & \sum P_i^3 \\ \sum P_i^2 & \sum P_i^3 & \sum P_i^4 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} \alpha \\ \beta \\ \gamma \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \sum C_i \\ \sum P_i C_i \\ \sum P_i^2 C_i \end{pmatrix} \quad (10)$$

2.6 Metode *Differential Evolution*

Perkembangan komputasi saat ini sangat cepat. Sebagai tanggapan atas semakin banyaknya masalah yang terkait dengan optimalisasi dalam kehidupan sehari-hari yang perlu diselesaikan, berbagai pendekatan komputasi terus muncul untuk mencapai solusi dan kinerja yang memuaskan.

Differential Evolutionary Algorithm (DEA) merupakan salah satu jenis teknik optimasi modern yang menggunakan mekanisme pencarian populasi seperti GA, optimasi *bee colony*, dan PSO (Khamsawang dkk., 2009). Algoritma ini diperkenalkan oleh Storn dan Price pada tahun 1995 dan memiliki beberapa kelebihan dibandingkan dengan teknik optimasi lainnya. Salah satunya adalah strukturnya yang sederhana, dengan sedikit parameter kontrol dan tingkat konvergensi yang tinggi dalam menghasilkan solusi optimal (Violita dkk, 2012).

Operasi DE *Algorithm* untuk Optimasi *Economic dispatch* pada pembangkit dijelaskan dengan rinci (Fahira, 2015):



Daftar 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*. Populasi awal DE secara matematis dapat digambarkan sebagai berikut:

$$P_{x,g} = (X_{i,g}), \quad i = 1, \dots, N_p, \quad g = 1, \dots, g_{max} \quad (11)$$

$$X_{i,g} = (X_{j,i,g}), \quad J = 1, \dots, D \quad (12)$$

$X_{i,g}$ merupakan vektor ke-i pada pembangkitan ke g. Sedangkan $X_{j,i,g}$ adalah nilai vektor ke-i pada parameter ke-j, pada pembangkitan ke g. Nilai i adalah bilangan bulat dari 0 sampai N_p , g adalah bilangan bulat dari 0 sampai g_{max} , dan j adalah bilangan bulat dari 0 sampai D-1. Pada tahap inisialisasi, nilai awal vektor pada populasi awal diinisialisasi secara random pada suatu daerah tertentu yang memiliki suatu batasan. Batas atas, bU, dan batas bawah ,bL, dari setiap vektor tersebut didefinisikan sebagai berikut:

$$x_j^L \leq x_{j,i,g} \leq x_j^U \quad (13)$$

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 ($x_{r1,g}$) dan vektor dua ($x_{r2,g}$) yang dipilih secara acak pada vektor ketiga (x_{r0}). Pengkombinasian tiga perbedaan vektor ini merupakan strategi mutasi yang ditunjukkan oleh persamaan 14 berikut:

$$v_{i,g} = x_{r0} + F \times (x_{r1,g} - x_{r2,g}) \quad (14)$$



Persamaan 14 diatas mempresentasikan tahap mutasi pada DEA dengan $v_{i,g}$ vektor mutan, x_{r0} , x_{r1} , dan x_{r2} sebagai vektor yang dipilih secara acak, serta F sebagai nilai real dengan range $[0,1]$. Nilai F inilah yang akan mengontrol pengaruh dari variasi *differential* dari $(x_{r1,g} - x_{r2,g})$. Gambar 2.16 yang menunjukkan ilustrasi mutasi suatu vektor pada contoh 2 dimensional.

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.

$$u_{i,g} = u_{j,i,g} = \begin{cases} v_{j,i,g} & \text{if } (rand_j \leq Cr \text{ or } j = j_{rand}) \\ x_{j,i,g} & \text{yang lain} \end{cases} \quad (15)$$

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. Sebaliknya, Jika *trial vector*, $u_{i,g}$, memiliki nilai *objective function* atau *fitness* yang lebih besar daripada *fitness* vektor awalnya, maka vektor awal tadi tetap menjadi anggota pada pembangkitan atau iterasi selanjutnya. Selanjutnya setelah populasi baru diperoleh, proses mutasi, rekombinasi, dan seleksi diulangi sampai nilai optimum diperoleh atau kriteria yang diinginkan tercapai atau mencapai iterasi maksimum yakni 100 kali.

Jika trial vektor, $u_{i,g}$, mempunyai nilai fungsi tujuan yang lebih kecil dari fungsi tujuan vektor targetnya. $x_{i,g}$ maka $u_{i,g}$ akan menggantikan posisi $x_{i,g}$ dalam populasi pada generasi berikutnya. Jika terjadi sebaliknya, vektor target akan tetap pada posisinya dalam populasi.



$$x_{i,g} = \begin{cases} u_{i,g} & \text{if } f(u_{i,g}) \leq f(x_{i,g}) \\ x_{j,i,g} & \text{yang lain} \end{cases} \quad (16)$$

2.7 Metode Artificial Bee Colony

Artificial Bee Colony (ABC) adalah algoritma optimasi yang terinspirasi oleh perilaku pencarian makanan kawanan lebah madu. Algoritma ini digunakan untuk memecahkan masalah yang bersifat multidimensi dan multimodal (Karaboga, 2005). Koloni dari lebah terdiri dari tiga kelompok yaitu (Pramudia, 2018):

- a. Lebah pekerja (*employed bees*), akan menari sebagai tanda agar nektar tersebut dapat dipanen oleh lebah penjaga.
- b. Lebah penonton (*onlooker bees*), bertugas untuk membuat keputusan awal pada sumber makanan yang akan dipilih.
- c. Lebah pengintai (*scout bees*), bertugas untuk mencari sumber baru yang dibuat secara acak.

Alur kerja dari algoritma ABC dapat dijelaskan dalam sebagai berikut:

1. Menetapkan parameter kontrol ABC dan data dari pembangkit yang akan dioptimalkan. Parameter kontrol ABC meliputi jumlah populasi (NP), jumlah iterasi maksimum (*Maximal iteration*), batas bawah (*lower bounds*), dan batas atas (*upper bounds*). Data dari pembangkit meliputi informasi pembangkit, nilai fungsi biaya (*cost function*), dan total permintaan daya (Pd).
2. Pada tahap inisialisasi, lebah-lebah mulai menjelajah untuk menentukan kandidat awal sumber makanan. Dalam konteks ini, sumber makanan tersebut merupakan representasi daya output generator yang akan dioptimalkan.

$$P_{ij} = P_{j \min} + \text{rand}(P_{j \max} - P_{j \min}) \quad (17)$$

dengan:

P_{ij} : nilai solusi awal

rand : nilai acak dari *range* 0 sampai 1

\min : batas minimum dari komponen i

\max : batas maksimum dari komponen i



3. Pada fase lebah pekerja, setiap lebah mencari sumber makanan di sekitarnya. Lebah tersebut menemukan sumber makanan baru dan mengevaluasinya dengan menghitung nilai *fitness*. Persamaan yang digunakan untuk menentukan sumber makanan baru pada ABC adalah:

$$P_{ij}^{baru} = P_{ij}^{lama} + u (P_{ij}^{lama} - P_{kj}) \quad (18)$$

dengan:

P_{ij}^{baru} : daya output ke j pada unit pembangkit i yang baru

u : nilai acak dari *range* -1 sampai 1

P_{kj} : sumber makanan yang dipilih secara acak

Setelah sumber makanan (yang dalam masalah *economic dispatch* diasumsikan sebagai nilai daya baru) ditemukan, akan dievaluasi berdasarkan nilai *fitness* dan dipilih secara acak. Rumus yang digunakan untuk ini adalah:

$$fitness_j = \frac{1}{\sum_{j=1}^{NP} (1 + F_i P_i)} \quad (19)$$

4. Selanjutnya masuk ke fase lebah pengamat (*onlooker bee phase*), di mana lebah akan menunggu informasi dari lebah pekerja. Kemudian, lebah pengamat akan memilih sumber makanan berdasarkan nilai probabilitas yang ditentukan dengan rumus:

$$P_j = \frac{fit_j}{\sum_{j=1}^{SN} fit_j} \quad (20)$$

Jika nilai daya dengan *fitness* terbaik memiliki nilai probabilitas tertinggi, aka nilai daya tersebut akan dipilih oleh lebah pengamat (*onlooker bees*). ada fase lebah pencari (*scout bee*), nilai terbaik dari daya yang diperoleh eh lebah pengamat (*onlooker bees*) akan dievaluasi.



6. Proses ini akan berlanjut hingga mencapai iterasi maksimum. Setelah iterasi maksimum tercapai, daya output generator dengan biaya terendah akan ditampilkan.

2.8 MATLAB

MATLAB, yang merupakan singkatan dari *Matrix Laboratory*, adalah sebuah bahasa pemrograman yang dirancang untuk membantu dalam perhitungan yang kompleks atau simulasi dari sistem yang ingin disimulasikan (Noviansyah, 2019). Dalam pembuatan desain yang dioptimalkan, program MATLAB digunakan sebagai bahasa pemrograman perhitungan yang melibatkan operasi matematika pada elemen, matriks, optimasi, aproksimasi, dan berbagai hal lainnya.

Pada tahun 1970, Cleve Moler merilis versi pertama MATLAB. Awalnya, MATLAB dirancang untuk memecahkan masalah persamaan aljabar linear. Seiring berjalannya waktu, program ini terus berkembang dalam hal fungsi dan kinerja komputasi. Bahasa pemrograman yang saat ini dikembangkan oleh MathWorks Inc. menggabungkan proses pemrograman, komputasi, dan visualisasi melalui antarmuka yang mudah digunakan. MATLAB juga memiliki keunggulan umum lainnya, seperti analisis dan eksplorasi data, pengembangan algoritma, pemodelan dan simulasi, visualisasi plot dalam bentuk 2D dan 3D, serta pengembangan aplikasi antarmuka grafis. Di lingkungan perguruan tinggi, MATLAB digunakan sebagai alat pembelajaran pemrograman matematika, teknik, dan sains pada tingkat pengenalan dan lanjutan. Sementara itu, di dunia industri, MATLAB dipilih sebagai alat untuk penelitian, pengembangan, dan analisis produk industri (Tjolleng, 2018).

2.9 State of the Art


Tabel 1 berikut ini merupakan daftar penelitian terdahulu yang dijadikan sebagai referensi dan pembanding pada penelitian ini:



Tabel 1. *State of the Art*

No.	Penulis	Judul Penelitian	Metode yang Digunakan	Hasil yang Dicapai	Perbedaan dengan Penelitian yang Diusulkan
1	Muhammad Haekal, Rukmi Sari Hartati, Wayan Gede Ariastina (2021)	<i>Economic dispatch</i> Pada Pembangkit Listrik Tenaga Diesel Gas (PLTDG) Di PT. Indonesia Power UPJP Bali Menggunakan <i>Fuzzy Logic Controller</i> (FLC)	<i>Fuzzy Logic Controller</i>	Perhitungan <i>Economic dispatch</i> menggunakan metode Iterasi Lamda selama 24 jam pada tanggal 30 September 2017 didapatkan hasil total biaya produksi pembangkitan sebesar Rp. 3.514.889.982,19,- lebih mahal dari pengeluaran real system sebesar 11,52%. Hasil perhitungan <i>Economic dispatch</i> menggunakan metode Fuzzy Logic Controller menghasilkan total biaya produksi yang lebih murah 3,94% selama 24 jam.	<ol style="list-style-type: none"> 1. Metode yang digunakan adalah FLC sedang penelitian ini menggunakan DE. 2. Menggunakan data sistem PLTDG sedangkan penelitian ini menggunakan data sistem Hibrid PLTD dan PLTS
2	Moustafa Dalal Bachi (2012)	<i>Economic dispatch and Demand Side Management</i> in Diesel Hybrid Mini-Grids	<i>Secant Method</i>	Hasil simulasi menunjukkan bahwa ketika daya pengenalan sumber PV meningkat atau permintaan beban menurun, efisiensi sistem akan menurun dan siklus kerja genset akan meningkat. Di sisi lain, ketika menggunakan ED dengan DSM dampak beban terhadap efisiensi akan berkurang dan efek negatif dari pengurangan daya yang merupakan siklus dan persentase kerja per hari untuk setiap genset juga akan berkurang.	<ol style="list-style-type: none"> 1. Data yang diaplikasikan adalah data dari desain mini grid diesel yang dibuat sendiri oleh penulis sedangkan penelitian ini menggunakan data real dari PLTD dan PLTS Selayar 2. Penelitian dilakukan dalam bentuk penjadwalan ekonomis dengan menambahkan <i>variabel demand side management</i>, sedangkan penelitian yang akan dilakukan harusnya berfokus pada penjadwalan ekonomis saja. 3. Metode yang digunakan ialah <i>Secant</i>, sedangkan penelitian ini menggunakan DE.



3	Haripuddin , Sugeng A karim , Edi Suhardi Rahman (2019)	Optimasi Penjadwalan Ekonomis Pembangkit Pada Sistem Tenaga Menggunakan Algoritma ABC	<i>Artificial Bee Colony</i>	Algoritma ABC mampu menyelesaikan permasalahan optimasi biaya bahan bakar penjadwalan ekonomis pembangkit lebih baik dibandingkan dengan metode <i>Lagrange</i> .	<ol style="list-style-type: none"> 1. Metode yang digunakan adalah ABC, sedangkan penelitian ini menggunakan metode DE. 2. Data yang digunakan adalah data sistem IEEE 33 bus, sedangkan pada penelitian ini menggunakan data hibrid PLTD dan PLTS Selayar 3. Memperhitungkan rugi-rugi jaringan, pada penelitian ini tidak diperhitungkan.
4	Sartika Veronika Angdrie, LS Patras, H. Tumaliang, dan F. Lisi (2012)	Optimalisasi Biaya Bahan Bakar Untuk Penjadwalan Unit-Unit Pada Pembangkit Thermal Sistem Minahasa Dengan Metode Iterasi Lamda	Iterasi Lamda	Pada perhitungan penjadwalan pembangkit pada tanggal 24 November 2011 dengan menggunakan metode iterasi lamda maka didapatkan biaya pembangkitan sebesar Rp. 369.533.914,578. Jika dibandingkan dengan penjadwalan yang dilakukan pada tanggal yang sama oleh PT. PLN (Persero) biaya pembangkitannya sebesar Rp. 438.958.267,8, dengan selisih sekitar Rp. 69.424.353,3 maka dapat dibuktikan bahwa penjadwalan dengan menggunakan iterasi lambda menghasilkan biaya pembangkitan yang lebih murah.	<ol style="list-style-type: none"> 1. Metode yang digunakan adalah metode Iterasi Lamda sedangkan pada penelitian ini metode yang akan digunakan adalah DE. 2. Sistem yang digunakan yaitu Unit Pembangkit Termal Sistem Minahasa sedangkan pada penelitian ini hanya berfokus pada PLTD dan PLTS Selayar
	iolita, Priyadi, bandi	Optimisasi <i>Economic dispatch</i> pada Sistem Kelistrikan Jawa Bali 500 kV menggunakan <i>Differential Evolutionary Algorithm</i>	<i>Differential Evolution Algorithm</i>	Hasil menunjukkan bahwa metode DE mampu memberikan solusi optimal untuk sistem IEEE 30 bus dan untuk sistem Jawa Bali dibanding dengan metode <i>Langrange</i> dan PSO.	<ol style="list-style-type: none"> 1. Data yang digunakan yaitu sistem IEEE 30 bus dan sistem kelistrikan Jawa Bali, sedangkan pada penelitian ini pada sistem hibrid PLTD dan PLTS Selayar

					2. Mempertimbangkan rugi-rugi daya sedangkan pada penelitian yang akan dilakukan tidak mempertimbangkan rugi-rugi daya.
6	Achmad Faizal Tamin , Karnoto, Mochammad Facta	Optimisasi Penjadwalan Ekonomis Pada Unit Pembangkit PLTG Di Pltgu PT Indonesia Power Tambak Lorok Menggunakan Metode <i>Differential Evolution Algorithm</i>	<i>Differential Evolution Algorithm</i>	Metode optimisasi DEA dapat digunakan untuk solusi dari permasalahan penjadwalan ekonomis unit pembangkit PLTG di PLTGU Tambak Lorok dimana Perbandingan biaya operasi optimisasi metode DEA operasi sistem lebih hemat dibandingkan dengan biaya operasi pembebanan PLTGU Tambak Lorok.	<ol style="list-style-type: none"> 1. Data yang digunakan yaitu data PLTGU Tambak Lorok sedangkan pada penelitian ini akan menggunakan data dari hibrid PLTD dan PLTS Selayar 2. Dikembangkan dengan mempertimbangkan rugi-rugi daya pada jaringan transmisi sedangkan pada penelitian yang akan dilakukan tidak mempertimbangkan rugi-rugi daya.
7	Yogi Agus Priatna	<i>Economic dispatch</i> Unit Pembangkit Termal Memperhitungkan Kekangan Emisi Lingkungan Menggunakan Metode <i>Differential Evolutionary Algorithm</i> (DEA)	<i>Differential Evolutionary Algorithm</i>	Dengan metode DEA maka dapat diatur pembebanan pada tiap pembangkit termal yang ada dalam sistem dan diperoleh penurunan biaya dari operasi sistem. Unit berbahan bakar batu bara digunakan untuk menyuplai beban puncak agar menghasilkan total emisi yang lebih rendah. Unit-unit nuklir menghasilkan emisi paling rendah dengan daya yang besar saat dibangkitkan dibanding dengan unit-unit lainnya.	<ol style="list-style-type: none"> 1. Data yang digunakan adalah data sistem IEEE 24 bus dari 26 unit pembangkit termal sedangkan pada penelitian ini akan menggunakan data hibrid PLTD dan PLTS Selayar 2. Mempertimbangkan emisi sedangkan pada penelitian ini tidak diperhitungkan emisi.



8	Riswan Dinzi, Yulianta Siregar, Melinda Zubara Siregar	Perbandingan Metoda <i>Differential Evolutionary Algorithm</i> Dengan <i>Lagrange Multiplier</i> Pada Optimisasi <i>Economic dispatch</i>	<i>Differential Evolutionary Algorithm</i>	Biaya bahan bakar setelah optimisasi menggunakan metode DEA lebih hemat dibandingkan dengan biaya bahan bakar PLTU Pangkalan Susu.	1. Data yang digunakan adalah data dari PLTU Pangkalan Susu sedangkan pada penelitian ini menggunakan data hibrid PLTD dan PLTS Selayar
9	Muhammad Aghung Trisna Wiyadhi, I Made Ari Nrartha, dan Supriyatna (2020)	Penjadwalan Operasi Ekonomis PLTD Ampenan Menggunakan Algoritma Genetika	Algoritma Genetika	Algoritma Genetika menghasilkan total daya pembangkitan yang sama dengan operasi PLN dengan pola penjadwalan yang berbeda. Total biaya yang dapat di hemat menggunakan Algoritma Genetika untuk penjadwalan PLTD Ampenan selama periode waktu 1 Minggu (168 jam) adalah sebesar Rp. 6.298.125.002, atau 38,52% dari total operasi PLN selama periode waktu 1 Minggu	1. Data yang digunakan adalah data unit pembangkit PLTD Ampenan sedang pada penelitian yang akan dilakukan menggunakan data unit pembangkit PLTD dan PLTS Selayar 2. Metode yang digunakan adalah metode Algoritma Genetika, pada penelitian yang akan dilakukan menggunakan metode DE dengan metode <i>Artificial Bee Colony</i> sebagai pembanding.
10	Masoud Dashtdar, Aymen Flah, Seyed Mohammad Sadegh Hosseinimoghadam, Ch. Rami Reddy, H. M. Kotb, I. AboRas, asińska, siński	Solving the environmental/economic dispatch problem using the hybrid FA-GA multi- objective algorithm	hybrid firefly algorithm (FA) and genetic algorithm (GA)	Makalah ini menyelidiki pengaturan beban ekonomi dan lingkungan pembangkit listrik dengan mempertimbangkan kerugian, stabilitas tegangan, dan emisi polusi. Fungsi biaya bahan bakar derajat ketiga dan kendala praktis disertakan, memperumit permasalahan dan memerlukan algoritma optimasi yang efektif. Kombinasi algoritma firefly multi-objektif dan algoritma genetik mengoptimalkan fungsi objektif. Algoritma firefly yang	1. Data yang digunakan adalah data IEEE 30 bus sedangkan pada penelitian ini menggunakan data real PLTD dan PLTS Selayar 2. Metode optimasi yang digunakan adalah metode hybrid FA dan GA sedangkan pada penelitian ini menggunakan metode Differential Evolution 3. Losses, stabilitas tegangan dan emisi dipertimbangkan sedangkan pada penelitian ini tidak dipertimbangkan



				ditingkatkan dan metode fuzzy memperbaiki hasil, mengungguli dua metode optimasi lanjutan lainnya dalam mengurangi biaya bahan bakar dan emisi. Meskipun hasilnya positif, tantangan tetap ada dalam penyesuaian parameter dan pengujian ketahanan pada sistem yang lebih kompleks. Pekerjaan di masa depan mencakup pengujian skalabilitas, aplikasi praktis, dan perbandingan algoritma multi-objektif.	
11	Hossein Nourianfar dan Hamdi Abdi	Environmental/Economic Dispatch Using a New Hybridizing Algorithm Integrated with an Effective Constraint Handling Technique	Hybrid Exchange Market Algorithm (EMA) and Adaptive Inertia Weight Particle Swarm Optimization (AIWPSO)	Dengan menggunakan metode yang diusulkan, nilai minimum pengurangan biaya tahunan, dengan emisi yang sama atau lebih rendah dibandingkan metode lain, adalah USD 17.520, 8.760, dan 10.801.080 masing-masing untuk sistem uji 6-unit, 10-unit, dan 40-unit (dengan asumsi profil beban yang sama sepanjang tahun). Demikian pula, dalam sistem uji 14-unit untuk permintaan beban 1750, 2150, dan 2650 MW, nilai-nilai tersebut adalah USD 229.879, 148.438, dan 4.483	<ol style="list-style-type: none"> 1. Data yang digunakan adalah data IEEE 6, 10, 14, dan 40 bus sedangkan pada penelitian ini menggunakan data real PLTD dan PLTS Selayar 2. Metode optimasi yang digunakan adalah metode hybrid Exchange Market Algorithm (EMA) and Adaptive Inertia Weight Particle Swarm Optimization (AIWPSO) sedangkan pada penelitian ini menggunakan metode Differential Evolution 3. Losses dan emisi dipertimbangkan sedangkan pada penelitian ini tidak dipertimbangkan



12	Hassan Shokouhandeh, Mehrdad Ahmadi Kamarposhti, Ilhami Colak, dan Kei Eguchi	Unit Commitment for Power Generation Systems Based on Prices in Smart Grid Environment Considering Uncertainty	Modified Version of gray wolf optimization (MGWO)	Simulasi dilakukan pada sistem tenaga dengan 10 unit termal standar, dan hasil optimasi menggunakan MGWO yang diusulkan dibandingkan dengan versi sebelumnya dari algoritma GWO dan algoritma PSO. Hasil simulasi menunjukkan keunggulan algoritma MGWO yang diusulkan dibandingkan dengan kedua algoritma PSO dan GWO	<ol style="list-style-type: none"> 1. Data yang digunakan adalah data IEEE 10 bus sedangkan pada penelitian ini menggunakan data real PLTD dan PLTS Selayar 2. Metode optimasi yang digunakan adalah metode Modified Version of gray wolf optimization (MGWO) sedangkan pada penelitian ini menggunakan metode Differential Evolution
13	Bishwajit Dey, Biplab Bhattacharyya, and Fausto Pedro García Marquez	A hybrid optimization-based approach to solve environment constrained economic dispatch problem on microgrid system	. Hybrid grey wolf optimizers	Penggunaan RES menurunkan biaya pembangkitan sebesar 5.5% untuk economic dispatch dan CEED berbasis PPF, serta mengurangi emisi polutan sebesar 6.5%. Biaya pembangkitan dan jumlah polutan yang dihasilkan, yang dievaluasi menggunakan pendekatan ECED yang diusulkan, lebih mendekati nilai economic dispatch dan emission dispatch dibandingkan dengan solusi CEED berbasis PPF dan FP. Selain itu, analisis statistik mendukung keunggulan optimizer hibrida yang diusulkan dibandingkan dengan algoritma lain yang terdapat dalam literatur terbaru.	<ol style="list-style-type: none"> 1. Data yang digunakan adalah data IEEE sedangkan pada penelitian ini menggunakan data real PLTD dan PLTS Selayar 2. Metode optimasi yang digunakan adalah metode Hybrid grey wolf optimizers sedangkan pada penelitian ini menggunakan metode Differential Evolution 3. Data emisi dipertimbangkan sedangkan pada penelitian ini tidak dipertimbangkan 4. Sumber Energi Terbarukan menggunakan PV dan Wind Turbine sedangkan pada penelitian ini hanya mempertimbangkan PV saja



14	Sourav Basak, Biplab Bhattacharyya, dan Bishwajit Dey	Dynamic economic dispatch using hybrid CSAJAYA algorithm considering ramp rates and diverse wind profiles	hybrid CSAJAYA algorithm	<p>Hasil analisis menunjukkan bahwa tingkat penetrasi angin maksimum tercapai dengan menggunakan profil angin linier, dan pengurangan biaya bahan bakar sebesar 2,92% berhasil dicapai setelah penerapan profil tersebut. Hasil numerik juga menunjukkan bahwa pendekatan hibrida CSAJAYA yang diusulkan secara konsisten menghasilkan solusi berkualitas lebih baik dengan waktu eksekusi minimum tanpa terpengaruh oleh dimensi masalah, sehingga melampaui kinerja sejumlah algoritma yang diterapkan dalam studi ini.</p>	<ol style="list-style-type: none"> 1. Metode optimasi yang digunakan adalah metode hybrid CSAJAYA algorithm sedangkan pada penelitian ini menggunakan metode Differential Evolution 2. Sumber Energi Terbarukan mempertimbangkan Wind Turbine sedangkan pada penelitian ini mempertimbangkan PV
15	Yingjie Bai, Xuedong Wu, dan Aiming Xia	An enhanced multi-objective differential evolution algorithm for dynamic environmental economic dispatch of power system with wind power	Enhanced Multi-Objective Differential Evolution Algorithm (EMODE)	<p>Algoritma yang diusulkan menggabungkan pelanggaran total batasan dan fungsi penalti untuk menangani berbagai batasan, karena teknik batasan yang berbeda dapat efektif pada tahap-tahap tertentu dari proses pencarian. Metode ini memastikan bahwa setiap individu dalam Pareto Front (PF) dapat memenuhi syarat. Hasil penelitian menunjukkan bahwa algoritma yang diusulkan mampu menangani masalah DEED dengan energi angin secara efektif dan memberikan skema penjadwalan</p>	<ol style="list-style-type: none"> 1. Metode optimasi yang digunakan mempertimbangkan banyak constraint (multi-objective) seperti ramp rate dan spinning reservesedangkan pada penelitian ini hanya mempertimbangkan power balance dan lower-upper bound 2. Sumber Energi Terbarukan mempertimbangkan Wind Turbine sedangkan pada penelitian ini mempertimbangkan PV



				dinamis yang lebih baik untuk sistem tenaga listrik.	
16	Abdulaziz Almalaq, Tawfik Guesmi, dan Saleh Albadran	A Hybrid Chaotic-Based Multiobjective Differential Evolution Technique for Economic Emission Dispatch Problem	Hybrid Chaotic-Based Multiobjective Differential Evolution	Dengan menggunakan algoritma ChMODE, biaya total berhasil dikurangi dari nilai maksimumnya menjadi nilai minimumnya sebesar 3,1%, 4,2%, dan 4,2% untuk Kasus 1, 2, dan 3, masing-masing. Begitu pula, emisi berhasil dikurangi dari nilai maksimumnya menjadi nilai minimumnya sebesar 8,8%, 14%, dan 13,3% untuk Kasus 1, 2, dan 3, masing-masing. Selain itu, hasil yang diperoleh menggunakan ChMODE, dibandingkan dengan metode single-objective dan multi-objective lainnya, menunjukkan keunggulan metode yang diusulkan dalam hal stabilitas algoritma, distribusi solusi non-dominated, titik ekstrem Pareto Front (PF), dan kualitas solusi kompromi optimal.	<ol style="list-style-type: none"> 1. Metode optimasi yang digunakan mempertimbangkan banyak constraint (multi-objective) seperti ramp rate dan spinning reservesedangkan pada penelitian ini hanya mempertimbangkan power balance dan lower-upper bound 2. Data emisi dipertimbangkan sedangkan pada penelitian ini tidak dipertimbangkan

