

TESIS

**PENERAPAN *HYBRID ARTIFICIAL BEE COLONY* AND
DIFFERENTIAL EVOLUTION PADA OPTIMASI EKONOMIS
PEMBANGKIT LISTRIK**

**The Application of Hybrid Artificial Bee Colony and Differential
Evolution in the Economic Dispatch of Power Plants**

**ARIYEN DURI'
D032202002**



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

PENGAJUAN TESIS

**PENERAPAN *HYBRID ARTIFICIAL BEE COLONY* AND
DIFFERENTIAL EVOLUTION PADA OPTIMASI EKONOMIS
PEMBANGKIT LISTRIK**

Tesis

Sebagai Salah Satu Syarat untuk Mencapai Gelar Magister
Program Studi Teknik Elektro

Disusun dan diajukan oleh

ttd

**ARIYEN DURI'
D032202002**

Kepada

**FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS HASANUDDIN
GOWA
2023**

TESIS
PENERAPAN *HYBRID ARTIFICIAL BEE COLONY*
***AND DIFFERENTIAL EVOLUTION* PADA OPTIMASI**
EKONOMIS PEMBANGKIT LISTRIK

ARIYEN DURI'
D032202002

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

Universitas Hasanuddin

pada tanggal 16 Agustus 2023

dan dinyatakan telah memenuhi syarat kelulusan

Menyetujui,

Pembimbing Utama



Ardiaty Arief, ST., MTM., Ph.D.
NIP. 19780424 200112 2 001

Pembimbing Pendamping



Ir. Hasniaty A, S.T., M.T., Ph.D.
NIP. 19741205 200012 2 001

Dekan Fakultas Teknik
Universitas Hasanuddin



Prof. Dr. Eng. 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 di bawah ini:

Nama : Ariyen Duri'
Nomor Mahasiswa : D032202002
Program Studi : S2 Teknik Elektro

Dengan ini saya menyatakan bahwa, tesis yang berjudul “Penerapan *Hybrid Artificial Bee Colony and Differential Evolution* pada Optimasi Pembangkit Listrik” adalah benar karya saya dengan arahan dari komisi pembimbing (Ardiaty Arief, S.T., MTM., Ph.D. sebagai Pembimbing Utama dan Ir. Hasniaty A., S.T., M.T., Ph.D. sebagai Pembimbing Pendamping). Karya ini belum diajukan dan sedang tidak 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.

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

Gowa, 14 September 2023

Yang menyatakan,



Ariyen Duri'

KATA PENGANTAR

Puji dan syukur kehadiran Tuhan Yang Maha Esa atas kasih dan penyertaan-Nya sehingga hasil penelitian tesis dengan judul “Penerapan *Hybrid Artificial Bee Colony and Differential Evolution* pada Optimasi Ekonomis Pembangkit Listrik” ini dapat selesai.

Bukan hal yang mudah untuk menyelesaikan gagasan-gagasan tersebut dalam sebuah susunan tesis. Berkat bimbingan, arahan, dan motivasi berbagai pihak maka tesis ini disusun sesuai dengan persyaratan yang diberikan. Maka, Penulis dengan tulus menghaturkan terima kasih kepada:

1. Bapak Dr. Eng. Wardi, S.T., M.Eng. sebagai Ketua Program Studi Magister Teknik Elektro.
2. Ibu Ardiaty Arief, S.T., M.T., Ph.D., sebagai pembimbing I dan Ibu Ir. Hasniaty A., S.T., M.T., Ph.D. sebagai pembimbing II, yang senantiasa memberikan motivasi, nasehat, dan saran-saran dalam penyelesaian tesis ini.
3. Bapak Prof. Dr. Ir. Syafaruddin, S.T., M.Eng., IPU., sebagai penguji I, Ibu Dr. Ir. Hj. Sri Mawar Said, M.T., sebagai penguji II, dan bapak Yusri Syam Akil, S.T., M.T., Ph.D., sebagai penguji III atas bimbingan serta arahannya dalam penyelesaian tesis ini.
4. Seluruh dosen dan staf pengajar yang telah memberikan kami ilmu, bantuan, dan kemudahan selama menempuh pendidikan di Departemen Teknik Elektro.
5. Kedua orang tua terkasih, Bapak Anthon R., S.Pd. dan Ibu Selfi Tandiarra, S.Pd., adik-adik Arsi, Ezra, Gratzya dan segenap keluarga yang memberikan doa dan dukungan dalam penyelesaian tesis ini.
6. Teman-teman seperjuangan S2 Teknik Elektro 20202 atas motivasi dan dukungannya.
7. Teman-teman Keluarga Besar dan Darma atas doa dan dukungannya.

Penulis menyadari bahwa tesis ini tidak luput dari kekurangan. Oleh karena itu, saran dan kritik yang membangun dari para pembaca, sangat penulis harapkan demi penyempurnaan dan perbaikan tesis ini.

Makassar, 16 Agustus 2023

Penulis

ABSTRAK

ARIYEN DURI'. *Penerapan Hybrid Artificial Bee Colony and Differential Evolution Pada Optimasi Ekonomis Pembangkit Listrik* (dibimbing oleh **Ardiaty Arief, Hasniaty A**).

Harga bahan bakar akan meningkat sebagai akibat dari meningkatnya kebutuhan listrik dan ketersediaan bahan bakar batu bara sebagai sumber energi tidak terbarukan yang terbatas. Pemakaian bahan bakar pada pembangkit menjadi suatu hal yang menjadi perhatian khusus karena sebagian besar dari biaya operasi yang dikeluarkan adalah bahan bakar. Maka dari itu, pembangkit listrik diharapkan mampu memenuhi permintaan daya listrik konsumen secara aman dan juga ekonomis. Sehingga diperlukan suatu teknik pengoperasian pembangkit listrik yang optimal untuk meminimalkan biaya pembangkitan atau dikenal dengan istilah *economic dispatch*. Dengan penerapan *economic dispatch* akan dilakukan pengaturan dengan membagi daya yang harus dibangkitkan oleh masing-masing pembangkit dari sejumlah pembangkit yang ada untuk memenuhi kebutuhan beban sistem. Metode *hybrid artificial bee colony (ABC) and differential evolution (DE) algorithm (HABCDE)* diusulkan dalam penelitian ini. Data yang digunakan adalah data dari PLTU Mamuju dan data IEEE sistem 5 bus, 26 bus, dan 30 bus. Berdasarkan hasil pengoptimalan yang dilakukan pada data sistem PLTU Mamuju dan data IEEE sistem 5 bus, 26 bus, dan 30 bus dapat diketahui bahwa dengan menggunakan metode *hybrid Artificial Bee Colony and Differential Evolution (HABCDE)* lebih optimal jika dibandingkan dengan metode pembanding lainnya.

Kata kunci: ABC, HABCDE, IEEE, PLTU Mamuju, optimasi ekonomis

ABSTRACT

ARIYEN DURI'. *The Application of Hybrid Artificial Bee Colony and Differential Evolution in the Economic Dispatch of Power Plants* (supervised by **Ardiaty Arief, Hasniaty A**).

Due to the rising demand for power and the limited supply of coal as a non-renewable energy source, fuel costs will rise. Because fuel accounts for a large portion of operational expenses, the use of fuel in power plants is a topic of great importance. As a result, it is anticipated that the power plant will be able to efficiently and safely supply customer demand for electrical power. Therefore, we need an optimal power generation operating technique to minimize generation costs or known as economic dispatch. With the implementation of economic dispatch, arrangements will be made by dividing the power that must be generated by each generator from a number of existing generators to meet the system's load requirements. The hybrid artificial bee colony (ABC) and differential evolution (DE) algorithm (HABCDE) methods are proposed in this study. The data used are data from the Mamuju PLTU and IEEE 5 bus, 26 bus, dan 30 bus system. Based on the optimization results carried out on the Mamuju PLTU system data and IEEE 5 bus, 26 bus, dan 30 bus system, it can be seen that using the Artificial Bee Colony and Differential Evolution (HABCDE) hybrid method is more optimal when compared to other comparison methods.

Keywords: ABC, HABCDE, IEEE, PLTU Mamuju, economic dispatch

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL.....	i
PENGAJUAN TESIS.....	ii
PERNYATAAN KEASLIAN TESIS DAN PELIMPAHAN HAK CIPTA	iv
KATA PENGANTAR	v
ABSTRAK	vii
ABSTRACT.....	viii
DAFTAR ISI.....	ix
DAFTAR GAMBAR	xi
DAFTAR TABEL.....	xii
DAFTAR LAMPIRAN	xiii
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	4
BAB II TINJAUAN PUSTAKA.....	6
2.1 Sistem Tenaga Listrik.....	6
2.2 Pembangkit Listrik Tenaga Uap (PLTU)	8
2.3 Optimasi Sistem Tenaga Listrik	10
2.4 Operasi Ekonomis Unit Pembangkit Listrik Termal	12
2.5 Hybrid Artificial Bee Colony and Differential Evolution Sebagai Metode Penyelesaian Permasalahan Economic Load Dispatch.....	16
2.6 Metode Least Square	26
2.7 MATLAB	27
2.8 Penelitian Terkait.....	29
BAB III METODOLOGI PENELITIAN.....	32
3.1 Lokasi dan Waktu Penelitian	32
3.2 Gambaran Umum Lokasi Penelitian.....	32
3.3 Menentukan Fungsi Karakteristik Input Output Pembangkit Menggunakan Metode Least Square.....	33
3.4 Menentukan Fungsi Biaya Bahan Bakar	34

3.5	Alur Penelitian	35
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN		37
4.1	Data IEEE	37
4.2	Data Real PLTU Mamuju	49
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN.....		63
5.1	Kesimpulan	63
5.2	Saran	63
DAFTAR PUSTAKA		64
LAMPIRAN		68

DAFTAR GAMBAR

Gambar 1 Skema Kerja PLTU Mamuju (Sumber: PT. Rekind Daya Mamuju)....	9
Gambar 2 Siklus listrik pembangkit listrik tenaga uap.....	12
Gambar 3 Kurva input output pembangkit	14
Gambar 4 Flowchat implementasi Artificial Bee Colony	17
Gambar 5 Flowchart implementasi differential evolution.....	21
Gambar 6 Flowchart implementasi hybrid artificial bee colony and differential evolution.....	24
Gambar 7 Menu dialog select data	33
Gambar 8 Menu dialog edit series.....	33
Gambar 9 Menu format trendline	34
Gambar 10 Flowchart alur penelitian	36
Gambar 12 Diagram kartesius fungsi input-output pembangkit unit 1	54
Gambar 13 Diagram Kartesius Fungsi Input-Output Pembangkit Unit 2	54
Gambar 14 Grafik perbandingan sebelum dan setelah optimasi pada hari kerja	59
Gambar 15 Grafik perbandingan sebelum dan setelah dilakukan optimasi pada akhir pekan.....	62

DAFTAR TABEL

Tabel 1 State of art	29
Tabel 2 Data kapasitas pembangkit sistem IEEE 5 bus	37
Tabel 3 Karakteristik biaya bahan bakar sistem IEEE 5 bus.....	37
Tabel 4 Hasil simulasi biaya bahan bakar pada sistem IEEE 5 bus	38
Tabel 5 Hasil simulasi daya yang dihasilkan masing-masing pembangkit pada sistem IEEE 5 bus	38
Tabel 6 Data kapasitas pembangkit sistem IEEE 26 bus	40
Tabel 7 Karakteristik biaya bahan bakar sistem IEEE 26 bus.....	41
Tabel 8 Hasil simulasi biaya bahan bakar pada sistem IEEE 26 bus	41
Tabel 9 Hasil simulasi daya yang dihasilkan masing-masing pembangkit pada sistem IEEE 26 bus	42
Tabel 10 Data kapasitas pembangkit.....	46
Tabel 11 Karakteristik biaya bahan bakar sistem IEEE 30 bus.....	46
Tabel 12 Hasil simulasi biaya bahan bakar pada sistem IEEE 30 bus	47
Tabel 13 Hasil simulasi daya yang dihasilkan masing-masing pembangkit pada sistem IEEE 30 bus	47
Tabel 14 Data kapasitas pembangkit.....	49
Tabel 15 Data input output unit PLTU Mamuju selama satu minggu	49
Tabel 16 Fungsi karakteristik input-output pembangkit	53
Tabel 17 Fungsi biaya bahan bakar pembangkit	55
Tabel 18 Perbandingan hasil sebelum dan setelah optimasi pembangkit pada hari kerja.....	57
Tabel 19 Perbandingan sebelum dan setelah optimasi pada hari akhir pekan	60

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1 Data operasional PLTU PT. Rekind Daya Mamuju	68
Lampiran 2 Tabel harga batu bara.....	69
Lampiran 3 Fungsi konsumsi batu bara unit 1 menggunakan metode least square	69
Lampiran 4 Fungsi konsumsi batu bara unit 2 menggunakan metode least square	70
Lampiran 5 Hasil simulasi optimasi menggunakan metode HABCDE sistem 5 bus – 150 MW	70
Lampiran 6 Hasil simulasi optimasi menggunakan metode HABCDE sistem 26 bus – 1263 MW	71
Lampiran 7 Hasil simulasi optimasi menggunakan metode HABCDE sistem 30 bus – 283,40 MW	71
Lampiran 8 Hasil simulasi optimasi menggunakan metode HABCDE untuk sistem PLTU Mamuju pada hari kerja jam 01:00 am.	72
Lampiran 9 Hasil simulasi optimasi menggunakan metode HABCDE untuk sistem PLTU Mamuju pada hari kerja jam 01:00 am.	72

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Listrik merupakan salah satu kebutuhan penting yang menjadi penggerak utama bagi manusia dalam melakukan aktivitasnya setiap hari. Listrik menunjang berbagai kebutuhan bahkan selama 24 jam, yang melayani berbagai sektor tidak hanya digunakan untuk keperluan penerangan. Tetapi juga untuk keperluan pendingin atau pemanas ruangan, transportasi bahkan untuk kepentingan pada bidang industri.

Perkembangan berbagai teknologi yang semakin canggih memberikan peluang sekaligus tantangan (Liu et al., 2021), di mana akan mendorong konsumsi energi listrik semakin besar. Maka dari itu, pembangkit listrik diharapkan mampu memenuhi permintaan daya listrik konsumen tetapi dengan harga yang seoptimal mungkin. Selain itu, sistem tenaga listrik juga diharapkan aman dan handal. Hal ini merupakan syarat mutlak yang harus dipenuhi dalam memenuhi kebutuhan listrik.

Pembangkit listrik tenaga uap (PLTU) adalah salah satu pembangkit listrik yang menghasilkan energi listrik dari energi panas yang dikonversikan menjadi uap yang digunakan untuk memutar turbin, kemudian menggerakkan generator untuk mengubah energi kinetik menjadi energi listrik. Pemakaian bahan bakar pada pembangkit listrik merupakan suatu hal yang menjadi perhatian khusus karena sebagian besar dari biaya operasi yang dikeluarkan adalah biaya bahan bakar. Bahan bakar yang saat ini masih banyak digunakan oleh PLTU adalah bahan bakar fosil seperti minyak bumi, batu bara, dan gas alam. Hingga tahun 2029 diperkirakan penyediaan tenaga listrik PLN masih akan didominasi oleh bahan bakar fosil, terutama batu bara (RUPTL, 2021).

Salah satu pembangkit yang mampu berkontribusi dalam menyuplai kebutuhan listrik di wilayah Provinsi Sulawesi Barat adalah PLTU Mamuju. PLTU Mamuju ini menggunakan batu bara sebagai bahan bakar. Berdasarkan data dalam jangka waktu 2015 hingga tahun 2019 pertumbuhan konsumsi listrik mencapai rata-rata 9,83% per tahun (RUPTL, 2021). Hal ini menunjukkan bahwa terjadi peningkatan permintaan energi listrik, maka dari itu perlu diimbangi dengan

memenuh ketersediaan energi listrik agar dapat memenuhi kebutuhan konsumen. Seiring dengan meningkatnya kebutuhan energi listrik dan ketersediaan bahan bakar batu bara sebagai sumber energi tidak terbarukan sehingga akan berdampak pada semakin tingginya harga bahan bakar.

Oleh karena itu, diperlukan suatu teknik pengoperasian pembangkit listrik yang optimal untuk meminimalkan biaya pembangkitan, metode tersebut adalah *economic dispatch*. Dengan penerapan *economic dispatch* akan dilakukan pengaturan dengan membagi daya yang harus dibangkitkan oleh masing-masing pembangkit dari sejumlah pembangkit yang ada untuk memenuhi kebutuhan beban sistem.

Berbagai metode *economic dispatch* telah diusulkan, antara lain: *bat algorithm* (Wulandhari et al., 2018), *cuckoo search algorithm* (Chellappan & Kavitha, 2017), *artificial bee colony* (Haripuddin et al., 2019), *differential evolution*, *hybrid particle swarm ant colony optimization* (Suyono et al., 2020), dan masih banyak lagi.

Metode *hybrid artificial bee colony and differential evolution algorithm* (HABCDE) merupakan metode yang digunakan pada penelitian ini. Metode HABCDE adalah penggabungan antara *artificial bee colony* (ABC) dan *differential evolution* (DE).

Algoritma ABC ini memiliki konsep dan implementasi yang mudah, sederhana, dan fleksibel. Namun, ABC memiliki kekurangan yaitu bagus dalam eksplorasi tetapi kurang maksimal dalam eksploitasi. Tahapan pada ABC adalah *employed bee phase*, *onlooker bee phase*, dan *scout bee phase*. Tahapan *employed bee* mempresentasikan kemampuan eksplorasi dan tahapan *onlooker bee* mempresentasikan kemampuan eksploitasi (Ustun & Akdagli, 2017). Sedangkan, pada algoritma DE tahapan *crossover* dengan nilai yang kecil akan meningkatkan kemampuan eksploitasinya (Xiang et al., 2014). Sehingga untuk meningkatkan kemampuan eksploitasi pada algoritma ABC, tahapan *crossover* pada algoritma DE diterapkan.

Oleh karena itu, diharapkan dengan hibridisasi ABC dan DE dapat mengembangkan algoritma dengan kecepatan konvergensi yang lebih baik dan keseimbangan yang lebih baik antara kemampuan eksplorasi dan eksploitasi. Data

yang digunakan adalah data dari PLTU Mamuju dan data IEEE (*Institute of Electrical and Electronics Engineers*) pada sistem 5 bus, 26 bus, dan 30 bus.

Metode ABCDE ini telah banyak digunakan pada penelitian lain, pada penerapan masalah registrasi citra (Qin et al., 2016) dan sistem antenna array (Qin et al., 2016). Tetapi hasil penggunaan metode ABCDE dari penelitian tersebut tidak dapat digunakan sebagai perbandingan dalam penelitian ini, karena fokus penelitian yang berbeda.

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang maka rumusan masalah pada penelitian ini adalah:

- a. Bagaimana melakukan optimasi ekonomis menggunakan data *real* dari PLTU Mamuju dan data dari sistem IEEE 5 bus, 26 bus, dan 30 bus?
- b. Bagaimana perbandingan biaya bahan bakar sebelum dan setelah dilakukan optimasi dengan metode *hybrid artificial bee colony and differential evolution* menggunakan data *real* dari PLTU Mamuju dan data dari IEEE pada sistem IEEE 5 bus, 26 bus, dan 30 bus?

1.3 Tujuan Penelitian

Adapun tujuan yang akan dicapai pada penelitian ini:

- a. Melakukan optimasi ekonomis menggunakan data *real* dari PLTU Mamuju dan data dari sistem IEEE 5 bus, 26 bus, dan 30 bus.
- b. Mengevaluasi perbandingan biaya bahan bakar sebelum dan setelah dilakukan optimasi dengan metode *hybrid artificial bee colony and differential evolution* menggunakan data *real* dari PLTU Mamuju dan data dari sistem IEEE 5 bus, 26 bus, dan 30 bus.

1.4 Manfaat Penelitian

Manfaat dari penelitian adalah:

- a. Memberikan sumbangsih kepada akademis maupun praktisi mengenai optimasi pembangkit listrik.
- b. Menjadi literatur dan referensi ilmiah bagi para mahasiswa tertarik pada topik serupa.

1.5 Batasan Masalah

Adapun batasan masalah penelitian ini: data yang digunakan untuk optimasi ekonomis pembangkit termal menggunakan data *real* dari PLTU Mamuju dan data dari sistem *Institute of Electrical and Electronics Engineers* (IEEE), yaitu sistem IEEE 5 bus, 26 bus, dan 30 bus.

- a. Fungsi objektif yang akan dioptimasi adalah meminimalkan biaya bahan bakar pembangkit.
- b. Data *real* yang diperoleh dari PLTU Mamuju tidak memperhitungkan kualitas batu bara dan mengabaikan rugi-rugi.
- c. Data pada sistem IEEE 5 bus, 26 bus, dan 30 bus memperhitungkan rugi-rugi transmisi.
- d. Perhitungan dan simulasi menggunakan software MATLAB.
- e. Metode yang digunakan dalam penyelesaian permasalahan yaitu metode *hybrid artificial bee colony and differential evolution*.

1.6 Sistematika Penulisan

Sistematika penulisan yang digunakan dalam penulisan proposal penelitian ini adalah:

BAB I Pendahuluan

Bab ini berisikan mengenai latar belakang mengapa penelitian ini dilakukan, rumusan masalah, tujuan penulisan, batasan masalah, dan sistematika penulisan dipaparkan pada bab ini.

BAB II Tinjauan Pustaka

Bab ini menjelaskan tentang landasan teori yang berhubungan dengan topik permasalahan yang dibahas mengenai *economic dispatch* dan metode *hybrid artificial bee colony and differential evolution*, serta menjelaskan tentang penelitian

terkait hingga kerangka pikir untuk penelitian guna memecahkan masalah yang sedang diteliti.

Bab III Metodologi Penelitian

Bab ini berisi penjelasan tentang lokasi dan waktu penelitian, bagaimana metode pengerjaan tesis ini dilakukan serta langkah-langkah pengerjaan yang dilakukan.

Bab IV Hasil dan Pembahasan

Bab ini membahas tentang hasil pengujian mengenai *economic dispatch* pada data IEEE 5 bus, 26 bus, dan 30 bus dan juga data real dari PLTU Mamuju menggunakan metode *hybrid artificial bee colony and differential evolution*.

Bab V Kesimpulan dan Saran

Bab ini membahas tentang kesimpulan dari hasil penelitian dan saran-saran yang berkaitan dengan penelitian ini.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Sistem Tenaga Listrik

Sistem tenaga listrik merupakan suatu sistem yang berfungsi untuk menyalurkan listrik dari berbagai pusat pembangkit hingga pada beban yang akan saling terinterkoneksi untuk melayani kebutuhan tenaga listrik bagi konsumen pengguna sesuai dengan kebutuhan.

Tujuan utama dari operasi sistem tenaga listrik ini adalah agar dapat memenuhi kebutuhan beban listrik secara efisien (beban terpenuhi dengan biaya yang minimum), dengan mempertimbangkan sasaran operasi tenaga listrik yang mana sistem harus dapat memenuhi standar dalam keamanan lingkungan, memiliki keandalan yang baik, dan dapat melayani permintaan secara berlanjut dari waktu ke waktu (Pertiwi dkk., 2018). Tujuan sistem tenaga listrik adalah sebagai berikut (Patoding dan Sau, 2019):

- a. Ekonomi (*economy*), berarti listrik harus dioperasikan secara ekonomis, tanpa melanggar batasan keandalan dan mutunya.
- b. Keandalan (*security*) merupakan kemampuan sistem dalam menghadapi kejadian yang tidak direncanakan (gangguan). Apabila terjadi gangguan di pembangkit ataupun pada saluran transmisi akan diusahakan agar tidak terjadi pemadaman di sisi konsumen.
- c. Mutu (*quality*) merupakan kemampuan sistem untuk mengukur agar kualitas tegangan dan frekuensi dari tenaga listrik dapat dijaga agar tetap berada pada kisaran yang ditetapkan.

Urutan prioritas pada pelaksanaan pengendalian operasi sistem tenaga listrik dari sasaran di atas bisa berubah-ubah tergantung pada kondisi *real time* yang terjadi. Pada saat terjadi gangguan, maka keandalan/sekuriti merupakan prioritas utama sedangkan mutu dan ekonomi bukanlah yang utama. Kemudian apabila keamanan dan mutu sudah bagus, maka selanjutnya ekonomi yang harus diperhatikan.

Proses penyaluran dalam sistem tenaga listrik secara bertahap terbagi menjadi tiga tahap, yaitu: tahap pembangkitan, transmisi, dan distribusi. Energi

listrik dibangkitkan oleh pembangkit tenaga listrik, kemudian disalurkan melalui jaringan transmisi tenaga listrik dan didistribusikan ke berbagai beban listrik. Selama beban-beban listrik tersebut terus mengkonsumsi daya listrik, selama itu pula daya listrik akan terus dibangkitkan.

Berikut ini penjelasan mengenai sistem tenaga listrik melalui tiga tahap, yaitu sebagai berikut:

2.1.1 Pembangkit Listrik (*Power Plant*)

Pembangkit listrik adalah salah satu industri penting bagi suatu negara karena mendukung berbagai kebutuhan masyarakat (Wulandhari et al., 2018). Pembangkit listrik merupakan tempat di mana energi listrik dibangkitkan atau dihasilkan. Pada pembangkit terdapat turbin penggerak mula dan juga generator yang berfungsi untuk membangkitkan tenaga listrik dengan cara mengubah energi primer yang berasal dari sumber energi lain misalnya air, batu bara, panas bumi atau minyak bumi menjadi energi listrik. Yang terdiri dari pembangkit listrik tenaga air (PLTA), pembangkit listrik tenaga uap (PLTU), pembangkit listrik tenaga gas (PLTG), pembangkit listrik tenaga gas dan uap (PLTGU), pembangkit listrik tenaga surya (PLTS), pembangkit listrik tenaga nuklir (PLTN).

Lokasi pembangkit listrik yang saling berjauhan satu sama lain dan terhubung satu sama lain melalui sistem transmisi yang luas. Ini dapat disebut sebagai sistem interkoneksi. Menurut Nadjamuddin Harun (2011) dalam (Al-Qaedi, 2018), adanya sistem interkoneksi tersebut menyebabkan:

- a. Keandalan sistem yang semakin tinggi
- b. Efisiensi pembangkitan tenaga listrik dalam sistem meningkat
- c. Mempermudah penjadwalan pembangkit

Pembangkit listrik khususnya pembangkit listrik tenaga uap (PLTU) adalah suatu pembangkit tenaga listrik yang mengonversikan energi kimia menjadi energi listrik dengan menggunakan uap air sebagai fluida kerjanya. PLTU mengubah energi kimia dari bahan bakar menjadi energi panas yang ditransfer ke air pengisi sehingga menjadi energi kinetik pada uap yang kemudian uap tersebut digunakan untuk memutar turbin, dari putaran poros turbin menggerakkan generator sehingga menghasilkan energi listrik.

Generator pada unit pembangkit yang berfungsi untuk menghasilkan daya listrik. Generator inilah yang berperan penting dalam sebuah pembangkit. Biasanya generator yang digunakan merupakan generator AC 3 fasa, yang juga disebut generator sinkron atau alternator.

2.1.2 Sistem Transmisi

Sistem transmisi merupakan proses penyaluran tenaga listrik dari pusat pembangkitan listrik hingga saluran distribusi listrik sehingga nantinya sampai pada konsumen atau pengguna listrik. Saluran transmisi akan mengakibatkan *losses* atau rugi-rugi pada sistem sehingga total tegangan yang dibangkitkan oleh generator harus lebih tinggi dari total beban (Mahaputra dkk., 2017). Maka pada sistem transmisi, tegangan dari pusat tenaga listrik akan dinaikkan menjadi tegangan tinggi 150 kV dan tegangan ekstra tinggi 500 kV guna meminimalisir rugi-rugi yang timbul.

2.1.3 Sistem Distribusi

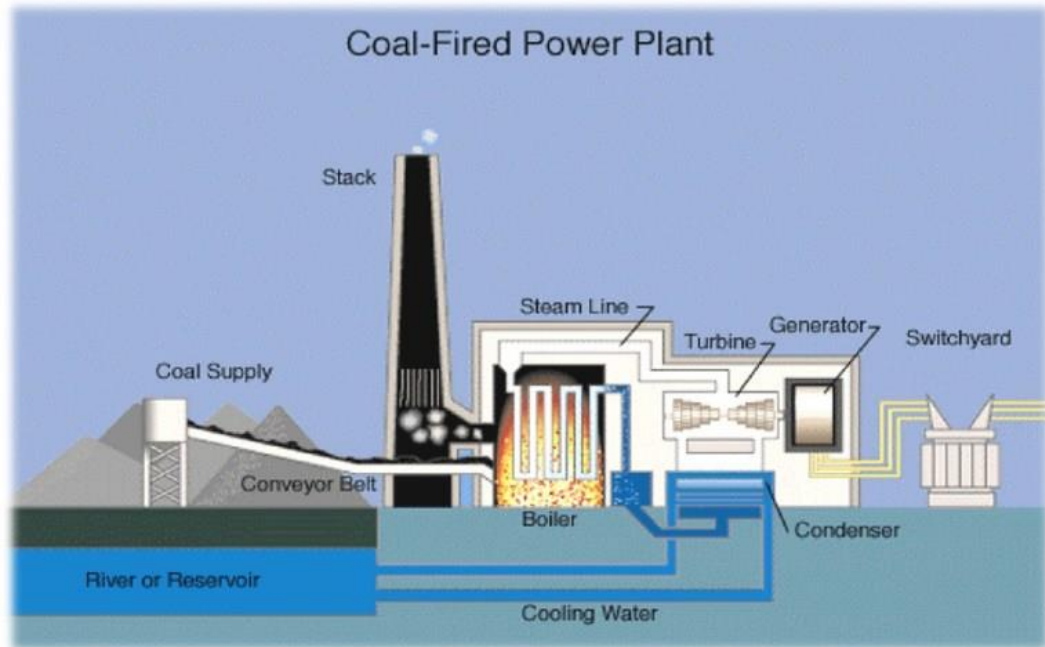
Sistem distribusi merupakan bagian dari sistem tenaga listrik yang menyalurkan listrik secara langsung bagi pelanggan atau konsumen. Pada sistem distribusi ini berfungsi dalam hal pembagian atau penyaluran tenaga listrik ke beberapa tempat. Sistem ini terdiri dari: pusat pengatur atau gardu induk, gardu hubung, saluran tegangan menengah/jaringan primer (6 kV dan 20 kV) seperti saluran udara atau saluran kabel bawah tanah, saluran tegangan rendah/jaringan sekunder (380 V dan 220 V), gardu distribusi tegangan yang terdiri dari panel-panel pengatur tegangan baik tegangan menengah ataupun tegangan rendah, dan transformator.

2.2 Pembangkit Listrik Tenaga Uap (PLTU)

Pembangkit listrik tenaga uap atau disingkat PLTU merupakan salah satu jenis pembangkit listrik yang mengubah energi panas menjadi energi listrik. Energi panas biasanya dihasilkan oleh proses pembakaran bahan bakar yaitu bahan bakar fosil (minyak, gas, dan batu bara).

Beban pada PLTU dibagi menjadi 2, yaitu beban pembangkitan (*gross power*) dan beban pelayanan (*net power*). Beban pembangkitan adalah jumlah daya total keluaran yang dihasilkan oleh generator. Beban pelayanan adalah daya

keluaran generator dikurangi daya pemakaian sendiri, daya pemakaian sendiri mencakup diantaranya pompa, *blower*, dan komponen lainnya yang mendukung proses pembangkitan (Bono et al., 2017).



Gambar 1 Skema Kerja PLTU Mamuju
(Sumber: PT. Rekind Daya Mamuju)

PLTU Mamuju memanfaatkan air laut untuk diubah menjadi uap yang dipanaskan dengan menggunakan batu bara sebagai bahan bakar. Tekanan uap yang dihasilkan dari proses pemanasan tersebut kemudian mengalir untuk menggerakkan turbin yang dihubungkan dengan poros generator. Kemudian generator berputar untuk menghasilkan energi listrik, selanjutnya ditransmisikan dengan 2 transformator. Pertama, masuk ke *main transformer* (MT) yang berfungsi agar dapat menaikkan tegangan 150 kV. Kemudian, dikirim ke *switch yard* (gardu induk yang berfungsi untuk menyalurkan daya listrik kepada pihak PLN) dan yang kedua masuk ke *unit auxiliary transformer* (UAT) yang berfungsi untuk menurunkan tegangan menjadi 6,3 kV yang digunakan oleh pemakaian perusahaan sendiri (Fitasari, 2019).

2.3 Optimasi Sistem Tenaga Listrik

Sistem tenaga listrik merupakan sebuah unit usaha di mana selain harus memperhatikan faktor teknis, juga harus memperhatikan pada faktor ekonomisnya. Kondisi kesetimbangan antara pendapatan dan pengeluaran harus dijaga agar mendapatkan keuntungan yang layak. Penjualan listrik dalam bentuk pemakaian energi (kWh) oleh konsumen harganya diatur dalam sistem tarif tertentu (di Indonesia menggunakan Keppres).

Pengoperasian sistem tenaga listrik meliputi secara umum tersebut terbagi dalam dua komponen yang disebut komponen biaya pembangkit, yaitu (Adefarati et al., 2013):

- a. Biaya tetap (*fixed cost*), biaya ini merupakan biaya yang tetap akan dikeluarkan meskipun pembangkit tidak beroperasi. Biaya ini ditentukan oleh modal investasi, bunga yang dikenakan atas uang pinjaman, pajak yang dibayarkan, gaji karyawan, dan biaya lainnya.
- b. Biaya tidak tetap (*variable cost*), merupakan biaya yang dapat berubah-ubah. Biaya ini merupakan biaya yang dikeluarkan untuk pembebanan yang dilakukan, termasuk biaya bahan bakar.

Pemakaian bahan bakar menjadi salah satu hal yang menjadi perhatian khusus karena sebagian besar dari biaya operasi yang dikeluarkan merupakan biaya bahan bakar (Syam, 2020). Pembiayaan terbesar yang terletak di pembangkit-pembangkit tersebut juga terkait erat dengan pola konsumsi oleh konsumen dalam memanfaatkan listrik. Maka diperlukan suatu tindakan dalam mengoptimasi sistem listrik agar berjalan dengan efisien.

Operasi sistem tenaga listrik memiliki tujuan utama yaitu untuk memenuhi kebutuhan beban listrik secara efisien (beban terpenuhi dengan biaya yang minimum), dengan mempertimbangkan sasaran operasi tenaga listrik (sistem harus dapat memenuhi standar dalam keamanan lingkungan, memiliki keandalan yang baik, dan dapat melayani permintaan secara berkelanjutan dari waktu ke waktu).

Kemajuan perkembangan teknologi yang pesat juga memberikan kontribusi besar dalam pelonjakan kebutuhan akan tenaga listrik, tetapi peningkatan akan kebutuhan tenaga listrik tidak boleh secara asal-asalan diatasi dengan penambahan jumlah pembangkit tenaga listrik. Maka perlu untuk dilakukan suatu pengaturan

atau pengelolaan terhadap pembangkitan listrik dengan baik agar keseluruhan beban masih mampu terpenuhi dan para pelaku produsen tenaga listrik tidak mendapatkan kerugian yang sangat besar karena biaya operasionalnya.

Terdapat dua pokok permasalahan yang harus diperhatikan dalam tujuan untuk mencapai operasi ekonomis pembangkitan pada sistem tenaga listrik, yaitu:

a. Pengaturan Penjadwalan Ekonomis (*Unit Commitment*)

Mencari kombinasi yang tepat dari unit pembangkit yang ada merupakan salah satu cara penanganan biaya operasi pembangkit tenaga listrik agar seminimal mungkin. Hal ini dikenal dengan pengaturan unit pembangkit. Akan dibuat skema urutan prioritas pada pengaturan unit, yaitu metode pengoperasian unit pembangkit berdasarkan total biaya rata-rata bahan bakar yang paling murah. *Unit commitment* atau biasa disingkat dengan UC yaitu menentukan jadwal (*schedule*) *on/off* pembangkit untuk dapat memenuhi kebutuhan beban (Darmawan et al., 2019).

Pengaturan pembangkit menentukan unit mana yang aktif dan unit mana yang tidak aktif dalam melayani beban sistem dijadwalkan atau diatur selama siklus waktu tertentu. Dalam membuat pengaturan jadwal tersebut digunakan pertimbangan teknis dan ekonomis. Dari sejumlah unit pembangkit yang ada akan ditentukan unit mana saja yang beroperasi dan tidak beroperasi pada jam tertentu sehingga dapat dibuat kombinasi operasi dari unit-unit yang ada.

b. Pengaturan Unit Pembangkit (*Economic Dispatch*)

Economic dispatch merupakan suatu usaha untuk menentukan besar daya yang harus disuplai dari tiap unit generator untuk memenuhi beban tertentu dengan cara membagi beban tersebut pada unit-unit pembangkit yang ada dalam sistem secara optimal ekonomis dengan tujuan meminimumkan biaya operasi pembangkitan.

Jadi, dalam *economic dispatch* pembebanan pada unit-unit pembangkit yang ada dalam sistem dibagi secara optimal ekonomi pada harga beban sistem tertentu sehingga biaya operasi dapat ditekan seminimal mungkin namun tetap dapat memenuhi permintaan beban dan memperhatikan batasan-batasan teknis dan operasional dari masing-masing pembangkit (Virgiansyah, 2017).

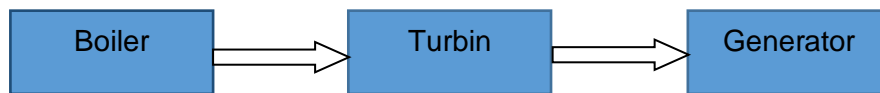
Beban listrik dikategorikan menjadi dua, yaitu: beban statis, di mana permintaan beban tetap untuk interval waktu yang besar, yang menghasilkan output

generator tetap untuk durasi jika terjadi pengiriman ekonomi beban statis. Satu-satunya tujuan adalah untuk mendapatkan biaya minimum pembangkitan dan transmisi, untuk setiap zaman, sehingga daya total yang dihasilkan dapat persis sama dengan daya yang dibutuhkan tanpa melanggar batasan apa pun.

Beban dinamis, di mana permintaan sistem tenaga bervariasi secara konsisten sehingga generator perlu beradaptasi. Dengan kata lain, dengan meningkatnya permintaan beban, output generator perlu ditingkatkan dan sebaliknya. Jadi, dalam pengiriman beban dinamis, penjadwalan generator yang terhubung ke jaringan dilakukan sesuai dengan beban yang bervariasi pada interval waktu yang teratur dengan tujuan biaya pembangkitan yang paling rendah (Dey et al., 2021).

2.4 Operasi Ekonomis Unit Pembangkit Listrik Termal

Pembangkit listrik tenaga termal adalah pembangkit listrik yang menghasilkan energi listrik dari energi panas. Berikut ini siklus pembangkitan pada pembangkit listrik tenaga termal.



Gambar 2 Siklus listrik pembangkit listrik tenaga uap

Biaya operasi pada sistem pembangkitan menjadi masalah penting akibat meningkatnya permintaan energi listrik dan biaya bahan bakar. Pada unit pembangkit termal yang berbahan bakar fosil, meningkatnya beban akan mendorong meningkatnya kuantitas (jumlah) bahan bakar per satuan waktu yang akan meningkatkan pertambahan biaya per satuan waktu.

Sumber daya energi terbarukan menjadi salah satu peran kunci dalam mengakomodasi peningkatan permintaan listrik dan dalam mengatasi pencemaran lingkungan (Liu et al., 2020) dan juga sumber energi fosil makin lama makin berkurang dan tidak bisa digantikan, serta penggunaan energi fosil berlebihan dapat menimbulkan dampak baru bagi lingkungan. Sehingga salah satu solusi dari permasalahan ini adalah mengoperasikan unit pembangkit secara efisien dan ekonomis berdasarkan pada optimisasi *economic dispatch* (ED).

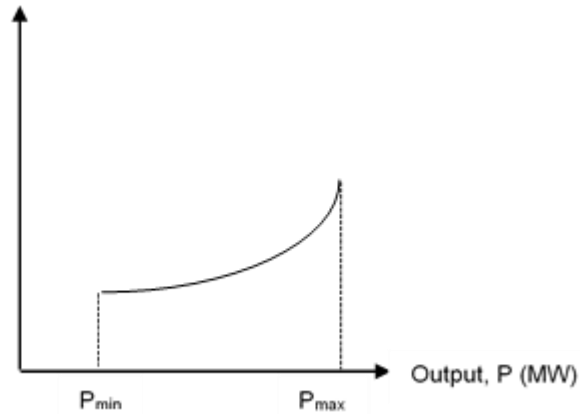
Tujuan utama pada *economic dispatch* adalah untuk meminimalkan konsumsi bahan bakar dari pembangkit dengan menentukan daya keluaran setiap unit pembangkit dan juga memenuhi keseimbangan antara permintaan dan pasokan kapasitas pembangkitan (Chen, G., & Zhao, Z., 2017). Pembangkit dengan biaya operasi terkecil harus dimaksimalkan penggunaannya dan pembangkit dengan biaya operasi terbesar harus diminimalkan penggunaannya (Nappu et al., 2019).

Jadi dapat disimpulkan bahwa *economic dispatch* merupakan usaha dalam perencanaan dan pengoperasian yang dilakukan dalam meminimalkan biaya produksi dengan mengalokasikan daya yang dihasilkan oleh setiap unit sistem tenaga secara ekonomis serta mengoperasikan setiap unit produksi secara optimal dengan mempertimbangkan biaya pembangkitan serta beberapa *constraint* lain dengan tetap memberikan pelayanan kebutuhan listrik yang baik.

Pembangkit listrik tenaga air (PLTA) merupakan salah satu pusat listrik yang biaya investasinya paling tinggi, tetapi biaya operasinya paling rendah sehingga biaya tetapnya per tahun juga paling tinggi. Dilain pihak, dalam pembangkitan tenaga listrik, pembangkit listrik tenaga uap (PLTU) adalah salah satu pusat listrik yang biaya investasinya paling kecil, tetapi biaya operasinya paling tinggi sehingga biaya tetapnya setiap tahun paling kecil.

Setiap unit pembangkit dalam pengoperasiannya memiliki karakteristik fungsi biaya yang berbeda-beda sesuai dengan jenis bahan bakar dan jenis pembangkit. Efisiensi unit pembangkit termis dapat dilihat dari karakteristik laju konsumsi bahan bakar terhadap daya keluaran. Laju konsumsi bahan bakar unit pembangkit pada dasarnya merupakan besar biaya yang harus dikeluarkan untuk per-MegaWatt (MW) daya keluaran yang dihasilkan oleh unit pembangkit tersebut.

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).



Gambar 3 Kurva input output pembangkit

Biaya pembangkitan pada pembangkit listrik tenaga termal, bahan bakar sebagai *input* dan daya aktif sebagai *output*. Sehingga pemodelan biaya bahan bakar berkaitan dengan daya aktif yang diproduksi oleh pembangkit. Berikut ini karakteristik *input output* pembangkit dapat digunakan fungsi polinomial orde dua, sebagai berikut:

$$F_T = \sum_{i=1}^N C_i P_i \quad (1)$$

$$C_i P_i = \alpha_i P_i^2 + \beta_i P_i + \gamma_i \quad (2)$$

Keterangan:

F_T = Total biaya pembangkitan

C_i = *Input* bahan bakar pembangkit termal ke-i (liter/jam)

P_i = *Output* pembangkit termal ke-i (MW)

$\alpha_i, \beta_i, \gamma_i$ = Konstanta *input output* pembangkit termal ke-i

Penentuan parameter $\alpha_i, \beta_i, \gamma_i$ membutuhkan data yang berhubungan dengan *input* bahan bakar C_i dan *output* pembangkit P_i . Kemudian data ini dapat diolah dengan menggunakan metode kuadrat terkecil (*least square method*) (Risnawati dan Ulinnuha, 2020). Langkah-langkah untuk memperoleh persamaan karakteristik *input output* permangkit berdasarkan data operasi adalah:

1. Mencatat jumlah pemakaian bahan bakar C_i untuk menghasilkan daya listrik sebesar P_i .
2. Mengulangi langkah pertama untuk data selanjutnya.
3. Data yang diperoleh kemudian diolah dengan menggunakan *least square method*.

Berikut ini konstanta persamaan menggunakan metode kuadrat terkecil (*least square method*):

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

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

$$\alpha \sum P_i^2 + \beta \sum P_i^3 + \gamma \sum P_i^4 = \sum P_i^2 C_i \quad (5)$$

Kemudian diubah menjadi bentuk matriks, seperti berikut:

$$\begin{pmatrix} n & \sum P_i & \sum P_i^2 \\ \sum P_i & \sum P_i^2 & \sum P_i^3 \\ \sum P_i^2 & \sum P_i^3 & \sum P_i^4 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} \alpha \\ \beta \\ \gamma \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \sum C_i \\ \sum P_i C_i \\ \sum P_i^2 C_i \end{pmatrix} \quad (6)$$

Berikut ini batasan atau *constraints* dalam pengoperasian ekonomis pembangkit tenaga listrik, yaitu:

a. Equality constraint

Equality constraint merupakan batasan kesetimbangan daya, yang harus memenuhi total daya yang dibangkitkan oleh masing-masing pembangkit dianggap sama dengan jumlah total kebutuhan beban, yang dapat dinyatakan dengan persamaan berikut:

$$\sum_{i=1}^N P_i = P_R \quad (7)$$

Keterangan:

P_i : Daya output pembangkit (MW)

P_R : Total beban pada sistem (MW)

b. Inequality constraint

Inequality constraint mengharuskan daya output dari tiap unit lebih besar dari atau sama dengan daya minimum yang diperbolehkan serta lebih kecil dari atau sama dengan daya maksimum yang diperbolehkan (Ellahi, M., & Abbas, G., 2020).

$$P_{i,min} \leq P_i \leq P_{i,max} \quad (8)$$

Keterangan:

$P_{i,min}$ = nilai minimum kapasitas pembangkit ke-i

$P_{i,max}$ = nilai maksimum kapasitas pembangkit ke-i

2.5 Hybrid Artificial Bee Colony and Differential Evolution Sebagai Metode Penyelesaian Permasalahan Economic Load Dispatch

Beberapa penelitian sebelumnya telah melakukan penelitian terkait *economic dispatch* dengan menggunakan metode *bat algorithm* (Wulandhari et al., 2018), *particle swarm optimization* (Nassar et al., 2020), *artificial bee colony* (Haripuddin et al., 2019b), *hunger game search algorithm* (Aribowo et al., 2022), dan metode lainnya. Pada penelitian ini menggunakan metode *hybrid artificial bee colony and differential evolution*.

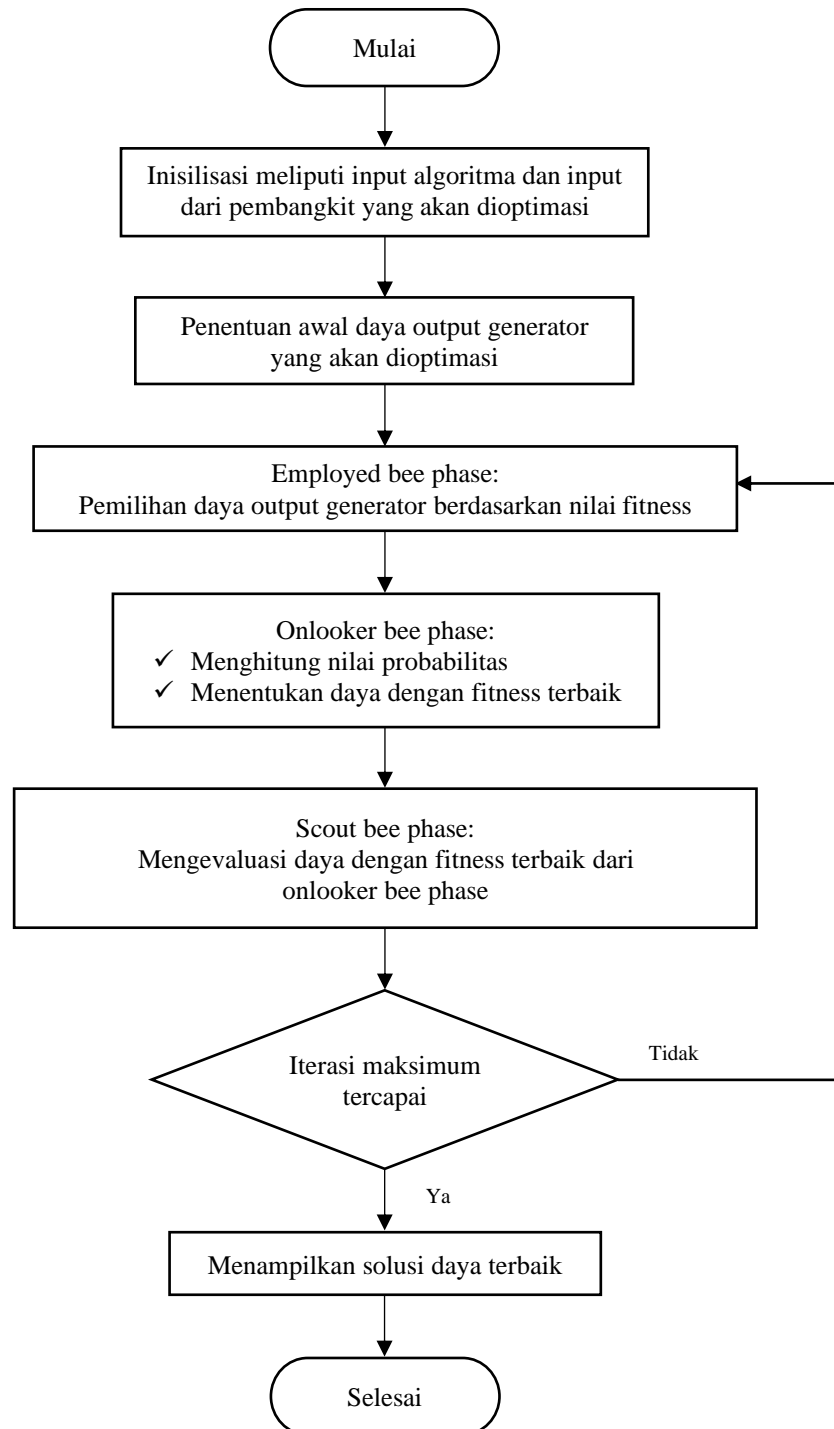
2.5.1 Metode Artificial Bee Colony

Artificial Bee Colony (ABC) *Algorithm* merupakan salah satu metode heuristik. Algoritma ini pertama kali dikenalkan oleh Karaboga pada tahun 2005. Algoritma *Artificial Bee Colony* ini menirukan tingkah laku kawan lebah untuk mencari dan mengeksploitasi sumber-sumber makanan secara efisien (Pramudia, 2018).

Koloni dari lebah terdiri dari tiga kelompok yaitu:

- a. Lebah pekerja (*employed bees*), lebah ini berperan untuk menjelajahi guna mencari sumber makanan yang kaya di sekitar sarang mereka.
- b. Lebah penonton (*onlooker bees*), bertugas untuk menunggu informasi di dalam sarang mengenai sumber makanan dari lebah pekerja. Kemudian akan memilih berdasarkan nilai probabilitas yang telah dihitung oleh lebah pekerja
- c. Lebah pengintai (*scout bees*), bertugas untuk mencari sumber baru yang dibuat secara acak.

Algoritma *artificial bee colony* merupakan metode yang dapat digunakan dalam menyelesaikan perhitungan biaya bahan pembangkit yang ekonomis. Berikut ini *flowchart* pada algoritma ABC:



Gambar 4 Flowchat implementasi Artificial Bee Colony

Penjelasan mengenai *flowchart artificial bee colony*, yaitu:

1. Menentukan parameter *control* ABC dan data dari pembangkit yang akan dioptimasi. Parameter *control* ABC diantaranya, yaitu: jumlah populasi (NP), maksimal iterasi (*Maximal iteration*), batas bawah (*lower bounds*) dan batas atas (*upper bounds*). Untuk data dari pembangkit diantaranya yaitu: data pembangkit, nilai *cost function*, dan total permintaan daya (Pd).
2. Pada tahapan inisialisasi, para lebah akan mulai mengeksplorasi untuk penentuan kandidat awal sumber makanan. Dalam hal ini makanan yang dimaksudkan adalah representasi daya *output* generator yang akan dioptimasi.

$$P_{ij} = P_{j \min} + rand(0,1)(P_{j \max} - P_{j \min}) \quad (9)$$

Keterangan:

P_{ij} : nilai solusi awal

$rand$: nilai acak

$P_{i \min}$: batas minimum dari komponen i

$P_{i \max}$: batas maksimum dari komponen i

Setiap generator memiliki batasan daya dalam pembangkitannya, nilai batas tersebut menjadi batasan dalam ruang pencarian nilai solusi.

3. Pada fase *employed bee* ini, setiap lebah yang bekerja untuk mencari sumber makanan di sekitarnya. Lebah tersebut menemukan sumber makanan yang baru dan mengevaluasi dengan menghitung nilai *fitness*. Persamaan untuk menentukan sumber makanan baru pada ABC adalah:

$$P_{ij}^{baru} = P_{ij}^{lama} + u(P_{ij}^{lama} - P_{kj}) \quad (10)$$

Keterangan:

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

P_{kj} : sumber makanan yang dipilih secara acak

u : nilai acak (-1,1)

Setelah sumber makanan (pada masalah *economic dispatch* diasumsikan sebagai nilai daya baru) yang ditemukan akan dievaluasi berdasarkan nilai *fitness* dan diseleksi secara acak. Persamaan rumus yang digunakan adalah:

$$fitness_j = \frac{1}{\sum_{i=1}^{NP} (1 + F_i P_i)} \quad (11)$$

Nilai *fitness* menunjukkan kualitas dari sebuah solusi, bila P_{ij}^{baru} memiliki nilai *fitness* yang lebih baik maka nilai P_{ij}^{baru} akan disimpan.

4. Selanjutnya masuk pada *onlooker bee phase*, di mana lebah akan menunggu informasi dari *employed bee*. Kemudian akan memilih berdasarkan nilai probabilitas ditentukan dengan rumus:

$$P_j = \frac{fit_j}{\sum_{j=1}^{SN} fit_j} \quad (12)$$

Jika nilai daya dengan *fitness* terbaik akan mendapatkan nilai probabilitas tertinggi, akan dipilih menjadi *onlooker bees*.

5. Fase *scout bee*, nilai terbaik dari daya yang diperoleh dari *onlooker bees* akan dievaluasi.
6. Tahapan ini akan terus berlangsung hingga iterasi maksimum tercapai. Ketika iterasi maksimum berakhir, maka daya output generator dengan biaya termurah akan ditampilkan.

2.5.2 Differential Evolution Sebagai Metode Penyelesaian Permasalahan Economic Load Dispatch

Differential Evolution (DE) adalah sebuah metode yang dikembangkan oleh Kenneth Price dan dipublikasikan pada Oktober 1994. Metode ini merupakan metode optimasi matematis fungsi multidimensional dan termasuk dalam kelompok *evolutionary algorithm*.

Langkah-langkah penting dalam menggunakan DE diberikan sebagai berikut:

a. Inisialisasi Populasi

Inisialisasi nilai awal DE dilakukan secara random pada suatu daerah tertentu yang memiliki suatu batasan. Inisialisasi bertujuan untuk membangkitkan nilai awal populasi dalam batasan yang telah ditentukan.

b. Mutasi

Setelah inisialisasi, DE memutasi dan merekombinasi populasi untuk menghasilkan sejumlah *trial vector*. Mutasi pada DE, yang disebut dengan *differential mutation*, ini dilakukan dengan mengkombinasi perbedaan vektor (*differencial vector*) dari vektor satu dan vektor dua yang dipilih secara acak pada vektor ketiga untuk menghasilkan *mutant vector*.

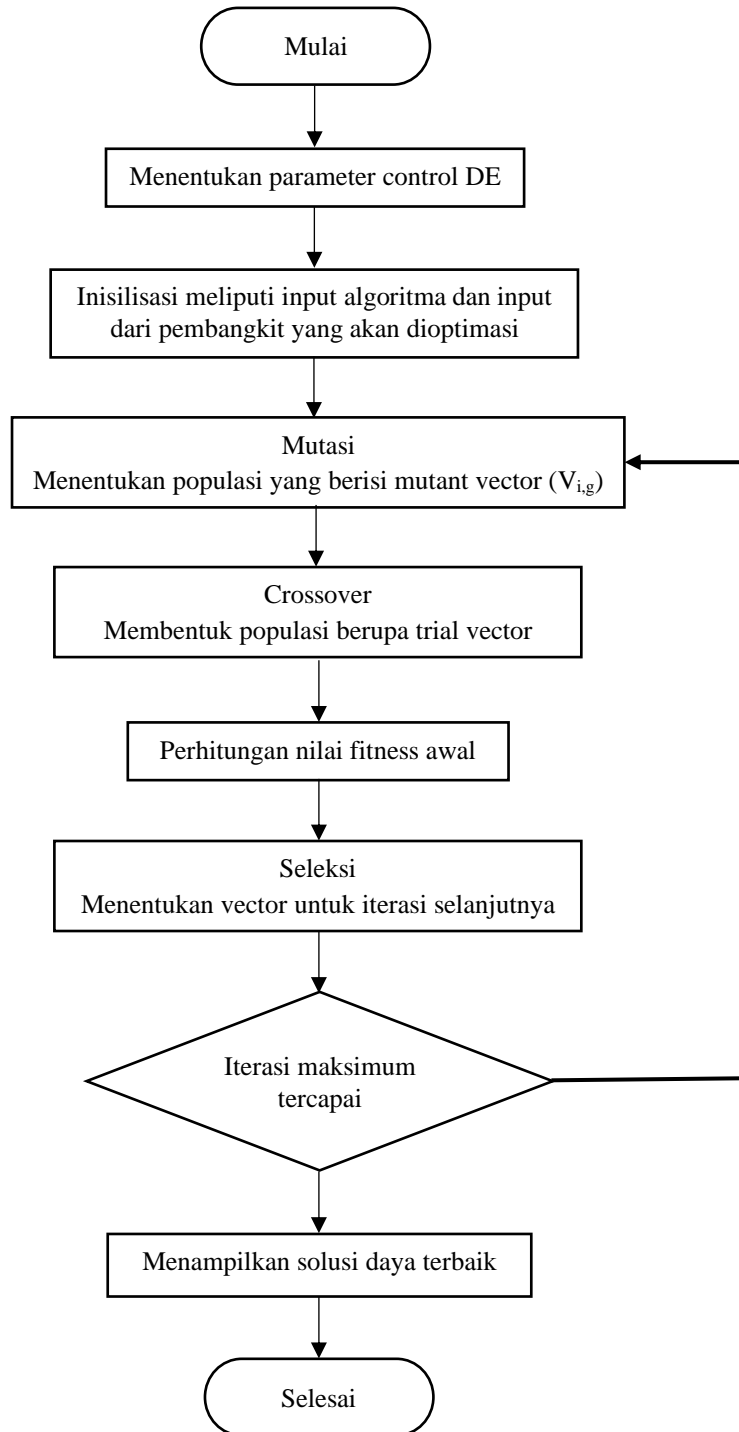
c. Crossover

Crossover digunakan pada DE untuk melengkapi strategi pencarian mutasi differential (*differential mutation*). Tujuan *crossover* pada DE adalah membentuk *trial vector* dari nilai parameter yang digandakan dari dua vektor yang berbeda yaitu, vektor awal dengan *mutant vector*. *Trial vector* ini selanjutnya digunakan sebagai pembanding dengan vektor lama pada tahap seleksi. Jika *trial vector* memiliki nilai *objective function* sama atau lebih kecil daripada target vektor maka *trial vector* akan mengganti target vektor pada pembangkitan atau iterasi selanjutnya. Sebaliknya, target vektor tetap menjadi anggota pada pembangkitan atau iterasi selanjutnya.

d. Seleksi

Seleksi dilakukan untuk menentukan vektor yang akan menjadi anggota populasi untuk iterasi selanjutnya. Seleksi dilakukan dengan membandingkan *trial vector* yang dibangkitkan dari proses mutasi dan *crossover* dengan target vektor yang telah dibangkitkan dari proses inisialisasi.

Berikut ini *flowchart* pada algoritma DE:



Gambar 5 Flowchart implementasi differential evolution

Penjelasan mengenai *flowchart differential evolution*:

1. Menentukan parameter *control* DE dan *input* data dari pembangkit yang akan dioptimasi. Parameter *control* diantaranya, yaitu: jumlah populasi (NP), tingkat *crossover* (CR) maksimal iterasi (*maximal iteration*), batas bawah (*lower bounds*) dan batas atas (*upper bounds*). Untuk input dari pembangkit diantaranya yaitu: data pembangkit, nilai *cost function*, dan total permintaan daya (Pd).

2. Inisialisasi dilakukan untuk penentuan kandidat solusi yang baru, dalam hal ini yang dimaksudkan adalah representasi daya yang akan dioptimasi.

$$P_{ij} = P_{i \min} + \text{rand}(0,1)(P_{i \max} - P_{i \min}) \quad (13)$$

Di mana P_{ij} adalah nilai solusi awal, $P_{i \min}$ adalah batas minimum dari komponen i , dan $P_{i \max}$ adalah batas maksimum dari komponen i .

3. Mutasi, pada tahap ini akan dibentuk populasi yang berisi *mutant vector* (v_{ig}), dengan persamaan sebagai berikut:

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

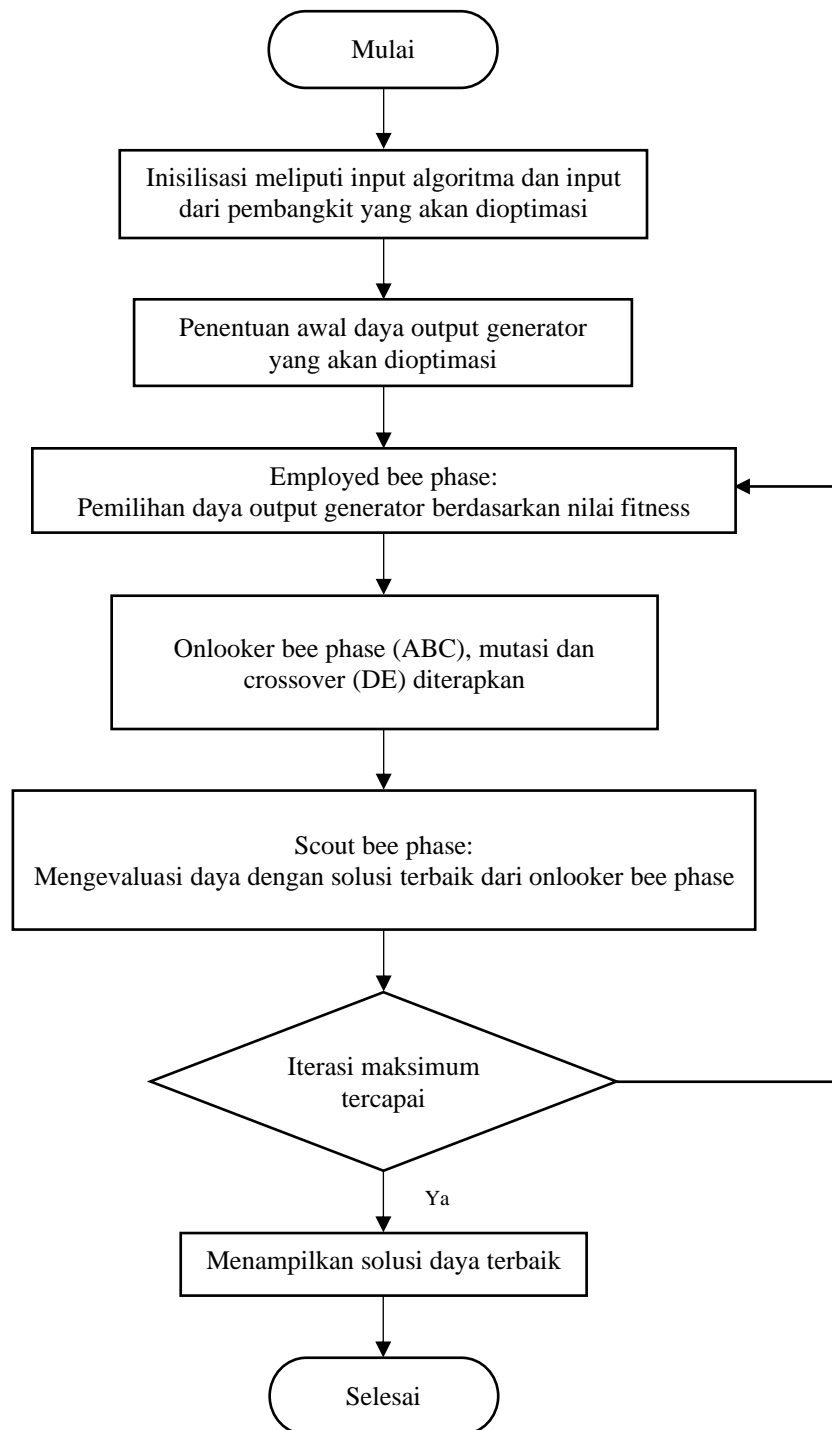
4. *Crossover* (rekombinasi), pada tahap ini akan membentuk populasi berisi *trial vector*. Nilai probabilitas *crossover* yang digunakan dengan *range* [0,1].
5. Seleksi, pada tahap ini dilakukan dengan membandingkan trial vector yang dibangkitkan dari proses mutasi dan *crossover* dengan target vektor yang telah dibangkitkan dari proses inisialisasi.

2.5.3 Hybrid Artificial Bee Colony and Differential Evolution

Algoritma yang diusulkan merupakan hibridisasi dari algoritma ABC dengan DE yang dapat dituliskan dengan Algoritma *Hybrid Artificial Bee Colony and Differential Evolution* (HABCDE). Algoritma ABC ini memiliki konsep dan implementasi yang mudah, sederhana, dan fleksibel. Namun, ABC memiliki kekurangan yaitu bagus dalam eksplorasi tetapi kurang maksimal dalam eksploitasi. Tahapan *employed bee* mempresentasikan kemampuan eksplorasi dan tahapan *onlooker bee* mempresentasikan kemampuan eksploitasi. Sehingga untuk meningkatkan kemampuan eksploitasi pada algoritma ABC, tahapan mutasi pada algoritma DE diterapkan.

Metode HABCDE ini terdapat tiga modifikasi, satu di setiap fase ABC, diusulkan sebagai berikut:

- a. Fase lebah pekerja: Pemilihan ini dilakukan untuk mencari solusi acak yang memiliki pengaruh signifikan terhadap kualitas solusi yang diperbarui. Keacakan solusi ini juga diperlukan untuk mempertahankan pencarian yang beragam di seluruh ruang pencarian. Oleh karena itu, jumlah perubahan dalam solusi (misalnya, ukuran langkah) seharusnya menyeimbangkan kemampuan eksplorasi (karena solusi acak) dan eksploitasi (karena adanya solusi terbaik) dari algoritma ABC.
- b. Fase lebah penonton: Karena kecepatan konvergensi DE relatif lebih baik daripada ABC, proses update posisi algoritma DE diimplementasikan dalam fase lebah penonton ABC. Ini telah dilakukan dengan harapan mencapai konvergensi yang lebih cepat oleh ABC. Dalam proses pencarian solusi hibridisasi yang diusulkan dari ABC dan DE, solusi baru (keturunan) dihasilkan melalui operasi mutasi dan *crossover*.
- c. Fase lebah pengintai: jumlah lebah pengintainya ditingkatkan. Biasanya, hanya satu pramuka yang dapat mencari solusi baru di ABC. Sementara, semua lebah pengintai yang melewati batas diperbolehkan dalam strategi yang diusulkan untuk menginisialisasi ulang solusi yang sesuai di ruang pencarian yang diberikan. Akibatnya, lebah yang terkait dengan solusi yang telah habis dipaksa untuk mengeksplorasi solusi baru di ruang pencarian.



Gambar 6 Flowchart implementasi hybrid artificial bee colony and differential evolution

Penjelasan mengenai flowchart HABCDE:

1. Menentukan parameter *control* ABC dan data dari pembangkit yang akan dioptimasi. Parameter *control* ABC diantaranya, yaitu: jumlah populasi (NP), maksimal iterasi (*Maximal iteration*), batas bawah (*lower bounds*) dan batas atas (*upper bounds*). Untuk data dari pembangkit diantaranya yaitu: data pembangkit, nilai *cost function*, dan total permintaan daya (Pd).

2. Inisialisasi dilakukan untuk penentuan kandidat solusi yang baru, dalam hal ini yang dimaksudkan adalah representasi daya yang akan dioptimasi.

$$P_{ij} = P_{i \min} + \text{rand}(0,1)(P_{i \max} - P_{i \min}) \quad (15)$$

Di mana P_{ij} adalah nilai solusi awal, $P_{i \min}$ adalah batas minimum dari komponen i, dan $P_{i \max}$ adalah batas maksimum dari komponen i.

3. Pada fase *employed bee* ini, setiap lebah yang bekerja untuk mencari sumber makanan di sekitarnya. Lebah tersebut menemukan sumber makanan yang baru dan mengevaluasi dengan menghitung nilai *fitness*. Persamaan untuk menentukan sumber makanan baru pada ABC adalah:

$$P_{ij}^{\text{baru}} = P_{ij}^{\text{lama}} + u(P_{ij}^{\text{lama}} - P_{kj}) \quad (16)$$

Keterangan:

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

P_{kj} : sumber makanan yang dipilih secara acak

u : nilai acak (-1,1)

Setelah sumber makanan (pada masalah *economic dispatch* diasumsikan sebagai nilai daya baru) yang ditemukan akan dievaluasi berdasarkan nilai *fitness* dan diseleksi secara acak. Persamaan rumus yang digunakan adalah:

$$\text{fitness}_j = \frac{1}{\sum_{j=1}^{NP} (1 + F_i P_i)} \quad (17)$$

Nilai *fitness* menunjukkan kualitas dari sebuah solusi, bila P_{ij}^{baru} memiliki nilai *fitness* yang lebih baik maka nilai P_{ij}^{baru} akan disimpan.

4. Selanjutnya masuk pada *onlooker bee phase*, di mana lebah akan menunggu informasi dari *employed bee*. Kemudian akan memilih berdasarkan nilai probabilitas ditentukan dengan rumus:

$$P_j = \frac{\text{fit}_j}{\sum_{j=1}^{SN} \text{fit}_j} \quad (18)$$

Jika nilai daya dengan *fitness* terbaik akan mendapatkan nilai probabilitas tertinggi, akan dipilih menjadi *onlooker bees*.

Setelah nilai *fitness* diketahui maka, selanjutnya tahapan mutasi dan crossover dari algoritma *Differential Evolution* diterapkan pada tahapan *onlooker* ini.

5. Fase *scout bee*, nilai terbaik dari daya yang diperoleh dari *onlooker bees* akan dievaluasi. Tahapan ini akan terus berlangsung hingga iterasi maksimum tercapai.
6. Ketika iterasi maksimum berakhir, maka daya output generator dengan biaya termurah akan ditampilkan.

2.6 Metode Least Square

Metode *Least Square* atau yang biasa disebut metode kuadrat terkecil adalah suatu proses untuk mendapatkan garis regresi atau garis yang terbaik untuk setiap kumpulan data yang dituliskan dalam persamaan dengan cara meminimalkan perbedaan atau selisih antara data kurva dan titiknya. Metode ini biasa digunakan untuk menemukan model prediktif yang paling sesuai dengan titik data yang diperlukan.

Metode kuadrat terkecil digunakan untuk menyusun suatu persamaan pendekatan menjadi suatu fungsi yang dihasilkan dari data pengamatan. Cara penyelesaiannya adalah sebagai berikut:

$$J \equiv \sum_{i=1}^N [\alpha_i P_{ti}^2 + \beta_i P_{ti} + \gamma_i - H_i]^2 \quad (19)$$

Keterangan:

I = 1,2,3,.....

N = Jumlah data

Penyelesaiannya diperoleh dengan mengatur turunan J terhadap α, β, γ menjadi nol, hasilnya adalah sebagai berikut:

$$\frac{\partial J}{\partial \alpha} = \sum_{i=1}^N 2[\alpha_i P_{ti}^2 + \beta_i P_{ti} + \gamma_i - H_i] = 0 \quad (20)$$

$$\frac{\partial J}{\partial \beta} = \sum_{i=1}^N 2P_{ti}[\alpha_i P_{ti}^2 + \beta_i P_{ti} + \gamma_i - H_i] = 0 \quad (21)$$

$$\frac{\partial J}{\partial \gamma} = \sum_{i=1}^N 2P_{ti}^2[\alpha_i P_{ti}^2 + \beta_i P_{ti} + \gamma_i - H_i] = 0 \quad (22)$$

Selanjutnya:

$$(N)\alpha + (\sum_{i=1}^N P_{ti})\beta + (\sum_{i=1}^N P_{ti}^2)\gamma = \sum_{i=1}^N H_i \quad (23)$$

$$(\sum_{i=1}^N P_{ti})\alpha + (\sum_{i=1}^N P_{ti}^2)\beta + (\sum_{i=1}^N P_{ti}^3)\gamma = \sum_{i=1}^N P_{ti}H_i \quad (24)$$

$$(\sum_{i=1}^N P_{ti}^2)\alpha + (\sum_{i=1}^N P_{ti}^3)\beta + (\sum_{i=1}^N P_{ti}^4)\gamma = \sum_{i=1}^N P_{ti}^2H_i \quad (25)$$

Berikut dalam bentuk matriks:

$$\begin{bmatrix} N & \sum_{i=1}^N P_{ti} & \sum_{i=1}^N P_{ti}^2 \\ \sum_{i=1}^N P_{ti} & \sum_{i=1}^N P_{ti}^2 & \sum_{i=1}^N P_{ti}^3 \\ \sum_{i=1}^N P_{ti}^2 & \sum_{i=1}^N P_{ti}^3 & \sum_{i=1}^N P_{ti}^4 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \alpha \\ \beta \\ \gamma \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \sum_{i=1}^N H_i \\ \sum_{i=1}^N P_{ti}H_i \\ \sum_{i=1}^N P_{ti}^2H_i \end{bmatrix} \quad (26)$$

Jadi,

$$\begin{bmatrix} \alpha \\ \beta \\ \gamma \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} N & \sum_{i=1}^N P_{ti} & \sum_{i=1}^N P_{ti}^2 \\ \sum_{i=1}^N P_{ti} & \sum_{i=1}^N P_{ti}^2 & \sum_{i=1}^N P_{ti}^3 \\ \sum_{i=1}^N P_{ti}^2 & \sum_{i=1}^N P_{ti}^3 & \sum_{i=1}^N P_{ti}^4 \end{bmatrix}^{-1} \begin{bmatrix} \sum_{i=1}^N H_i \\ \sum_{i=1}^N P_{ti}H_i \\ \sum_{i=1}^N P_{ti}^2H_i \end{bmatrix} \quad (27)$$

Berikut ini beberapa kelebihan dalam menggunakan metode *least square*:

- Metode ini sifatnya sangat objektif.
- Penggunaan dengan metode ini dapat menemukan nilai tren untuk waktu yang sama.
- Metode ini memberi hubungan fungsional antara dua variabel dalam bentuk penyama, yaitu: $y=a + bX$, $y=a + bX + cX^2$ dan sebagainya.
- Metode *least square* ini merupakan salah satu metode yang cukup populer dan banyak digunakan untuk menyelesaikan fungsi matematis.

2.7 MATLAB

MATLAB adalah singkatan dari *Matrix Laboratory*, yang mampu menyelesaikan masalah perhitungan dalam bentuk matriks. Pengetahuan mengenai matriks yang dipelajari dalam ilmu matematika dibutuhkan pada penggunaan MATLAB ini. MATLAB adalah suatu program untuk analisis dan komputasi numerik dan merupakan suatu bahasa pemrograman matematika lanjutan yang dibentuk dengan dasar pemikiran menggunakan sifat dan bentuk matriks.

MATLAB sering digunakan untuk teknik komputasi numerik, untuk menyelesaikan masalah-masalah yang melibatkan operasi matematika elemen, matriks, optimasi, aproksimasi, dan lain-lain. Sehingga MATLAB banyak

digunakan pada: Matematika dan Komputasi, Pengembangan dan Algoritma, Pemrograman Modelling, Analisis Data, Analisis Numerik dan Statistik, dan Pengembangan Aplikasi Teknik.

Tampilan *window* yang tersedia pada MATLAB adalah sebagai berikut:

a. Command Window

Command Window adalah *window* awal setiap kali MATLAB akan dijalankan. *Command Window* adalah tempat untuk menjalankan fungsi, mendeklarasikan variabel, menjalankan proses-proses, serta melihat isi variabel.

b. Current Directory

Window ini menampilkan isi dari direktori kerja saat MATLAB digunakan. Direktori ini dapat diganti sesuai dengan tempat direktori yang diinginkan. Default dari alamat direktori berada pada *folder works* tempat *program files* MATLAB.

c. Command History

Window ini berfungsi untuk menyimpan perintah-perintah apa saja yang sebelumnya dilakukan oleh pengguna.

d. Workspace

Workspace berfungsi untuk menampilkan seluruh variabel yang sedang aktif pada saat MATLAB berjalan. Apabila variabel berupa data matriks berukuran besar, maka user dapat melihat isi dari seluruh data dengan melakukan *double click* pada variabel tersebut. MATLAB secara otomatis akan menampilkan *window* “*array editor*” yang berisikan data pada setiap variabel yang dipilih *user*.

2.8 Penelitian Terkait

Penelitian-penelitian yang telah dilakukan yang berada pada Tabel 1 *state of the art* penelitian menunjukkan bahwa *economic dispatch* membantu dalam meminimalkan biaya produksi pembangkit. Selain itu beberapa metode dikemukakan dalam penelitian tersebut, sehingga dapat dijadikan pembandingan dalam menggunakan metode yang baik. Adapun penelitian yang terkait dengan penelitian ini adalah sebagai berikut:

Tabel 1 State of art

No.	Judul	Penulis/ Tahun	Metode	Hasil Penelitian
1.	<i>Dynamic Economic Dispatch for 150 kV Sulselbar Power Generation Systems Using Artificial Bee Colony Algorithm</i>	Haripuddin, Ansar Suyuti, Sri Mawar Said, Yusri Syam Akil/2019	<i>Artificial Bee Colony (ABC) Algorithm</i>	Hasil menunjukkan metode ABC yang dibandingkan dengan metode Lagrange mampu memberikan solusi terbaik untuk pengiriman ekonomi dinamis pada sistem yang diamati.
2.	<i>Hybridizing bat algorithm with artificial bee colony for combined heat and power economic dispatch</i>	R.Murugana, M.R.Mohanb , dkk 2018	<i>Hybrid Bat Algorithm (BA) dan Artificial Bee Colony (ABC)</i>	Hasil yang diperoleh dari algoritma yang disarankan mampu menemukan solusi hemat biaya yang lebih baik.
3.	<i>A new modified artificial bee colony algorithm for the economic dispatch problem</i>	Dinu Calin Secui/2015	<i>Hybrid Ant Colony Optimization (ACO), Artificial Bee Colony (ABC) and Harmonic Search (HS)</i>	Hasil yang diperoleh dengan jelas menunjukkan keunggulan algoritma hybrid dalam menemukan hasil yang optimal, sementara memenuhi kendala meminimalkan biaya pembangkitan, mengurangi emisi serta kerugian transmisi.
4.	<i>Economic Load Dispatch Using Hybrid DE-Firefly Algorithm</i>	Padarbinda Samal, Subham Chandrakar, Souasis Chattopadhyay/2018	<i>Hybrid Differential Evolution (DE) dan Firefly (FF)</i>	Hasil menunjukkan bahwa strategi DE-FF memiliki sifat konvergensi yang lebih besar. Selain itu, biaya pembangkitan dari strategi DE-FF lebih rendah dibandingkan dengan algoritma optimasi lainnya.

Tabel 1 (lanjutan)

No.	Judul	Penulis/ Tahun	Metode	Hasil Penelitian
5.	<i>Differential Evolution Ant Colony Optimization (DEACO) technique in solving Economic Load Dispatch problem</i>	N. A. Rahmat, I. Musirin/2012	<i>Differential Evolution Ant Colony Optimization (DEACO)</i>	Studi perbandingan sehubungan dengan ACO dan teknik tradisional menunjukkan bahwa DEACO yang diusulkan mengungguli kedua teknik perbandingan ini.
6.	<i>Combined economic and emission power dispatch problems through multiobjective squirrel search algorithm</i>	V.P. Sakthivel, M. Suman, P.D. Sathya/ 2020	<i>Multiobjective Squirrel Search Algorithm (MOSSA)</i>	Hasil penerapan MOSSA menghasilkan solusi optimal yang terdistribusi dengan baik dibandingkan dengan pendekatan pembanding lainnya. Studi komparatif mengungkapkan bahwa pendekatan yang disarankan menghemat biaya bahan bakar total dan juga memberikan pertukaran yang tepat antara pengurangan emisi dan penggunaan bahan bakar.
7.	<i>A Hybrid Metaheuristic Approach for the Solution of Renewables Incorporated Economic Dispatch Problems</i>	Manzoor Ellahi, Ghulam Abbas/2020	<i>Particle Swarm Optimization (PSO) and Bat Algorithm (BA)</i>	Algoritma PSO dan BA ini juga diuji untuk tiga kombinasi pembangkit listrik yang berbeda. Analisis komparatif menunjukkan bahwa pengurangan biaya yang wajar, waktu komputasi yang lebih baik, dan konvergensi yang cepat.
8.	<i>A Modified Hybrid Particle Swarm Optimization With Bat Algorithm Parameter Inspired Acceleration Coefficients for Solving Eco-Friendly and Economic Dispatch Problems</i>	Manzoor Ellahi, Ghulam Abbas, Gandeve Bayu Satrya, M. Rehan Usman, Jason Gu/2021	<i>Modified Hybrid Particle Swarm Optimization With Bat Algorithm Parameter (MHPSO-BAAC)</i>	Hasil dari algoritma MHPSO-BAAC yang dirancang dibandingkan dengan berbagai algoritma metaheuristik yang tersedia dalam literatur dan analisis komparatif menunjukkan kinerja yang unggul dari algoritma yang dikembangkan dalam hal pengurangan biaya bahan bakar, konvergensi yang cepat, dan waktu komputasi.

Tabel 1 (lanjutan)

No.	Judul	Penulis/ Tahun	Metode	Hasil Penelitian
9.	<i>Study on optimization of economic dispatching of electric power system based on Hybrid Intelligent Algorithms (PSO and AFSA)</i>	Guanghui Yuan, Weixin Yang/2019	<i>Particle Swarm Optimization (PSO) and Artificial Fish Swarm Algorithm (AFSA)</i>	Model optimasi yang dilakukan dapat meminimalkan biaya bahan bakar batu bara, emisi.
10.	<i>A combination of FA and SRPSO algorithm for Combined Heat and Power Economic Dispatch</i>	Mohammad Nasir a, Ali Sadollah b, Ibrahim Berkan Aydilek c, Afshin Lashkar Arad, Seyed Ali Nabavi-Niaki	<i>Firefly and Self-Regulating Particle Swarm Optimization (FSRPSO) algorithm</i>	Hasil optimasi yang diperoleh menunjukkan bahwa FSRPSO yang diusulkan memberikan solusi optimal yang cepat, dan andal serta mengungguli algoritma pembandingan lainnya dalam beragam kategori tolok ukur.

BAB III

METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Lokasi dan Waktu Penelitian

Pengambilan data beban dilakukan di PLTU Mamuju, dan penelitian selanjutnya dilakukan di Laboratorium *Energy and Power System*, Departemen Teknik Elektro, Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin. Penelitian dilakukan pada bulan Januari hingga April 2023.

3.2 Gambaran Umum Lokasi Penelitian

PT. Rekind Daya Mamuju (RDM) merupakan perusahaan yang didirikan dengan tujuan membangun, kemudian memiliki lalu mengoperasikan Pembangkit Listrik Tenaga Uap (PLTU) sebagai *Independent Power Producer* (IPP) dengan nama proyek sesuai Rencana Usaha Pengadaan Tenaga Listrik (RUPTL) PT. PLN (Persero) tahun 2012-2021 adalah PLTU Mamuju. PLTU Mamuju juga menjadi bagian dari proyek pembangkit listrik 35.000 Megawatt.

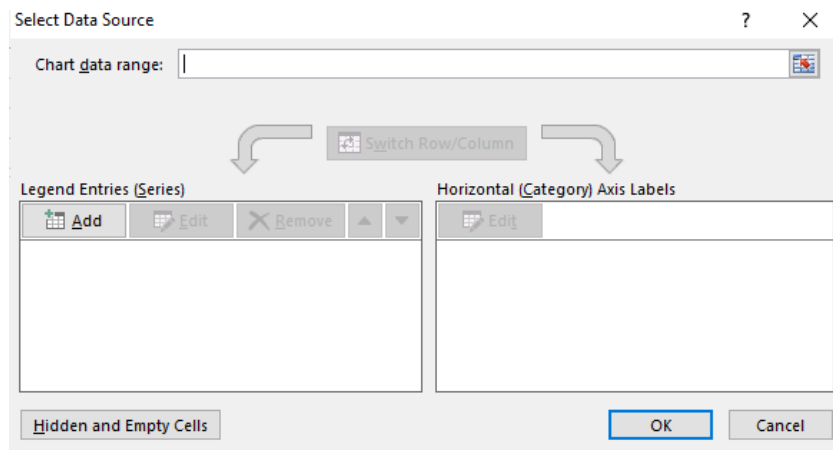
PLTU Mamuju ini terletak di desa Belang-Belang, kecamatan Kalukku, Kabupaten Mamuju, Sulawesi Barat termasuk dalam daftar proyek FTP II dengan kapasitas produksi 2 x 25 MW dan kapasitas terpasang 2 x 30 MW. PLTU Mamuju menjual listriknya kepada pihak PLN, kemudian PLN akan menyalurkan listrik kepada konsumen khususnya di daerah Sulawesi Barat.

Program atau *software* yang digunakan dalam penelitian ini, yaitu Microsoft Excel 2013 dan MATLAB R2016a. Microsoft Excel digunakan untuk menentukan fungsi konsumsi batu bara, sedangkan MATLAB digunakan untuk mencari nilai daya optimal pembangkit dengan menggunakan metode *hybrid artificial bee colony differential evolution*.

3.3 Menentukan Fungsi Karakteristik Input Output Pembangkit Menggunakan Metode Least Square

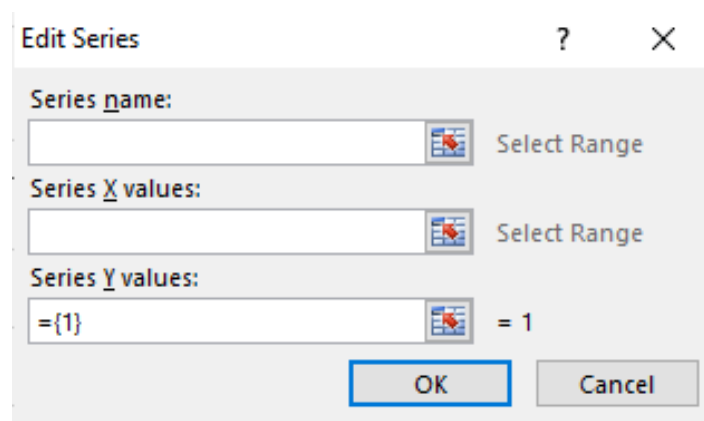
Fungsi karakteristik *input output* PLTU Mamuju ditentukan dengan menggunakan metode *least square* (metode kuadrat terkecil) pada Microsoft Excel. Berikut ini prosedur mendapatkan nilai fungsi karakteristik pembangkit:

1. Membuka aplikasi Microsoft Excel pada laptop.
2. Setelah aplikasi Microsoft Excel terbuka, maka masukkan data input output pada lembar kerja data.
3. Selanjutnya, klik menu “*Insert*” yang terdapat pada kolom atas Microsoft Excel. Klik menu “*Scatter*” pada menu *Charts*.
4. Pilih “*Select Data*”, akan muncul tampilan “*Select Data Source*”, kemudian klik “*Add*”.



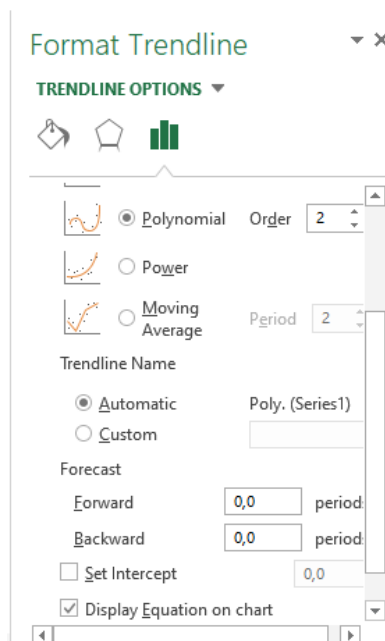
Gambar 7 Menu dialog select data

5. Akan muncul tampilan “*Edit Series*” untuk mengisi judul *chart*, variabel data x, dan variabel data y.



Gambar 8 Menu dialog edit series

6. Tampilan *chart* akan muncul, klik kanan pada *chart* dan pilih “*format trendline*”.
7. Kemudian akan tampil menu dialog *format trendline*, pada *trendline options* centang pada pilihan “*polynomial orde 2*” dan “*display equation on chart*”.



Gambar 9 Menu format trendline

8. Tampilan nilai fungsi karakteristik akan muncul.

3.4 Menentukan Fungsi Biaya Bahan Bakar

Setelah nilai fungsi karakteristik input output diketahui, maka untuk mendapatkan persamaan fungsi biaya bahan bakar dapat diperoleh dengan cara mengalikan harga batu bara dengan persamaan fungsi karakteristik *input output* pembangkit.

Berdasarkan Harga Mineral dan Batu bara Acuan untuk Bulan Oktober 2022 ditetapkan harga batu bara yaitu sebesar USD 330,97 (tiga ratus tiga puluh koma sembilan puluh tujuh dollar Amerika Serikat) per ton atau setara dengan Rp. 5.151.500,00 (lima juta seratus lima puluh satu ribu lima ratus rupiah). Dapat dituliskan dengan persamaan berikut:

$$1 \text{ Ton} = 330,97 \$$$

$$1 \$ = \text{Rp. } 15585,-$$

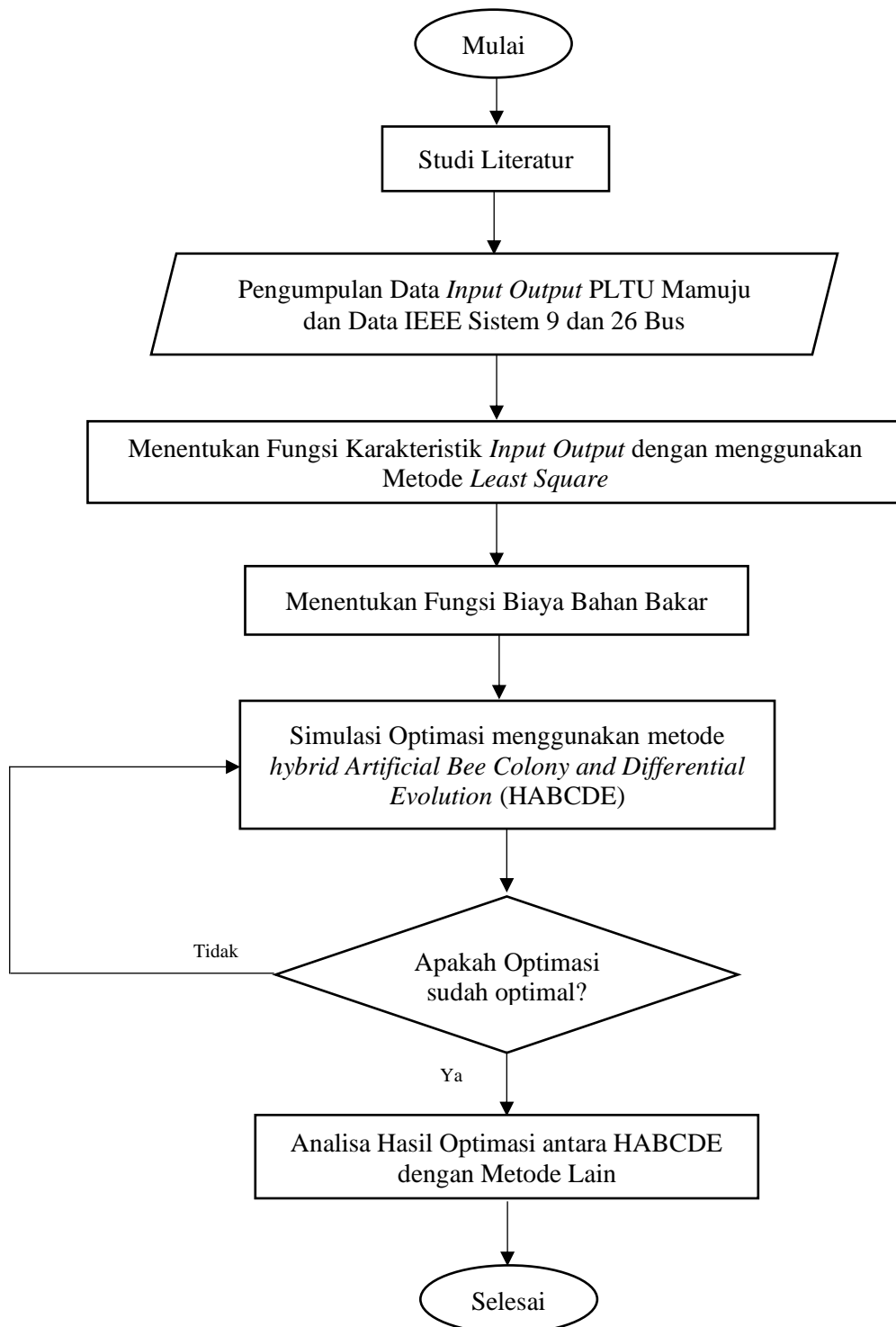
$$1 \text{ Ton} = \text{Rp. } 5151500,-$$

Fungsi biaya bahan bakar diperoleh dengan cara mengalikan fungsi konsumsi batu bara dengan harga batu bara:

$$F_1(P_1) = 5151500 \times C_1P_1$$

3.5 Alur Penelitian

Teknik pengumpulan data yang dilakukan melakukan pengambilan data real dari PLTU Mamuju dan data pada sistem IEEE 5 bus, 26 bus, dan 30 bus. Adapun data yang akan dikumpulkan berupa data kapasitas, data beban, dan data karakteristik biaya bahan bakar pembangkit. Kemudian disimulasikan menggunakan bantuan dari software MATLAB r2016a. Adapun langkah-langkah sistematis yang akan dilakukan dalam proses penelitian ini, yaitu sebagai berikut:



Gambar 10 Flowchart alur penelitian

BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Data IEEE

Data yang digunakan dari sistem IEEE 5 bus, 26 bus dan 30 bus. Ketiga sistem ini dipilih sebagai pembanding hasil dari setiap sistem yang dioptimalkan biaya bahan bakar dengan memperhitungkan pengaruh rugi-rugi transmisi. Data-data yang diperlukan untuk mencapai tujuan dari penelitian ini, yaitu: data kapasitas, data *input output* tiap unit pembangkit. Simulasi program HABCDE terdapat pada lampiran 10.

4.1.1 Sistem IEEE 5 bus

4.1.1.1 Data Kapasitas Pembangkit

Data kapasitas pembangkit pada sistem IEEE 5 bus adalah sebagai berikut:

Tabel 2 Data kapasitas pembangkit sistem IEEE 5 bus

Nama Unit Pembangkit	Daya (MW)	
	Minimum	Maksimum
Pembangkit 1 (P1)	10	85
Pembangkit 2 (P2)	10	80
Pembangkit 3 (P3)	10	70

Sumber: (Sheta et al., 2020)

4.1.1.2 Data Karakteristik Biaya pada Sistem IEEE 5 bus

Karakteristik biaya bahan bakar setiap unit-unit pembangkit di sistem IEEE 5 bus dapat dilihat pada tabel berikut:

Tabel 3 Karakteristik biaya bahan bakar sistem IEEE 5 bus

Nama Unit Pembangkit	α_i (\$/MW ²)	b_i (\$/MW)	c_i (\$)
Pembangkit 1 (P1)	0,008	7,00	200
Pembangkit 2 (P2)	0,009	6,30	180
Pembangkit 3 (P3)	0,007	6,80	140

(Sheta et al., 2020)

Berikut ini koefisien rugi-rugi transmisi pada sistem IEEE 5 bus sebagai berikut:

$$B = \begin{pmatrix} 0,000218 & 0,000093 & 0,000028 \\ 0,000093 & 0,000228 & 0,000017 \\ 0,000028 & 0,000017 & 0,000179 \end{pmatrix}$$

4.1.1.3 Hasil Optimasi Sistem IEEE 5 bus

Metode *hybrid artificial bee colony and differential evolution* (HABCDE) yang diusulkan untuk masalah *economic dispatch* ini dibandingkan dengan metode pembandingan dari penelitian sebelumnya, yaitu: *Particle Swarm Optimisation* (PSO) untuk menilai efektivitas metode yang diusulkan.

Tabel 4 menunjukkan biaya bahan bakar dan hasil rugi-rugi transmisi sistem IEEE 5 bus dengan total beban 150 MW.

Tabel 4 Hasil simulasi biaya bahan bakar pada sistem IEEE 5 bus

Algoritma	Biaya Bahan Bakar (\$/h)	Rugi-rugi Transmisi (MW)
PSO	1597,58	2,3546
HABCDE	1597,4827	2,3412

Tabel 5 menunjukkan pembagian daya yang dihasilkan oleh masing-masing pembangkit sistem IEEE 5 bus.

Tabel 5 Hasil simulasi daya yang dihasilkan masing-masing pembangkit pada sistem IEEE 5 bus

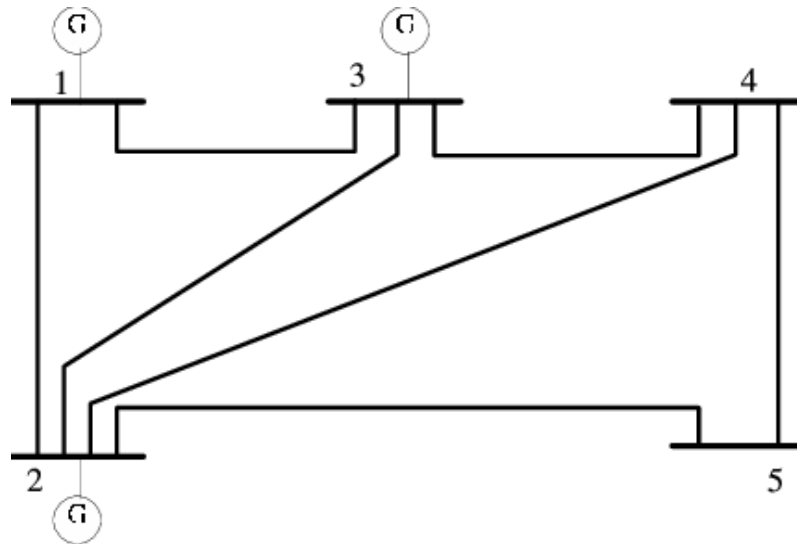
Nama Unit Pembangkit	Daya (MW)	
	PSO	HABCDE
Pembangkit 1 (P1)	35,3084	32,7213
Pembangkit 2 (P2)	64,3204	64,5713
Pembangkit 3 (P3)	52,7259	55,0488

Dari hasil pengoptimalan sistem IEEE 5 bus dengan 3 generator dengan proses *running* pada matlab selama 36,023 detik dapat diketahui bahwa dengan menggunakan metode hybrid *Artificial Bee Colony and Differential Evolution* (HABCDE) lebih optimal jika dibandingkan dengan metode PSO (Sheta et al., 2020).

Pada beban 150 MW hasil simulasi biaya bahan bakar yang digunakan secara berturut-turut adalah metode PSO sebesar 1597,58 \$/h dengan rugi-rugi 2,3546 MW. Sedangkan dengan menggunakan metode HABCDE biaya bahan bakar yang digunakan adalah 1597,4827 \$/h dan rugi-rugi transmisi yang terjadi adalah 2,3412 MW.

4.1.1.4 Gambar Sistem IEEE 5 Bus

Gambar pada sistem IEEE 5 bus, sebagai berikut:



Gambar 11 Sistem IEEE 5 Bus

4.1.1.5 Aliran Daya pada Sistem IEEE 5 Bus

Studi aliran daya yang dilakukan pada penelitian ini menggunakan metode Newton Rhapson. Berikut ini hasil simulasi pada aliran daya sistem IEEE 5 bus:

Tabel 6 Analisis aliran daya sistem IEEE 5 bus menggunakan metode Newton Rhapson

Bus Num	Volt, M (p.u)	Angle Degree	Load		Generation	
			MW	Mvar	MW	Mvar
1	1,060	0,000	0,000	0,000	32,589	22,826
2	1,045	-0,512	20,000	10,000	64,571	32,498
3	1,030	-0,808	20,000	15,000	55,049	15,378
4	1,019	-1,505	50,000	30,000	0,000	0,000
5	0,990	-2,981	60,000	40,000	0,000	0,000
Total			150,000	95,000	152,209	70,702

Dari aliran daya tersebut diketahui total daya pembangkitan aktif dan reaktif masing-masing sebesar 150,000 MW dan 95,000 MVAR. Sedangkan total daya beban aktif dan reaktif masing-masing sebesar 152,209 MW dan 70,702 MVAR. Hal ini menunjukkan adanya kehilangan saluran sekitar 2,210MW dan -24,296MVAR untuk seluruh saluran yang digabungkan.

Tabel 7 Real and Reactive Power flow over different lines and losses

From bus	To bus	P, MW	Q, MVAR	Line Losses		From bus	To bus	P, MW	Q, MVAR
				L _{Active}	L _{Reactive}				
1	2	22,824	15,595	0,157	-6,177	2	1	-22,667	-21,771
1	3	9,766	7,231	0,140	-5,042	3	1	-9,626	-12,273
2	3	5,398	4,733	0,042	-4,179	3	2	-5,356	-8,912
2	4	13,838	8,602	0,169	-3,752	4	2	-13,669	-12,354
2	5	48,003	30,935	1,233	0,589	5	2	-46,770	-30,346
3	4	50,031	21,565	0,284	-1,246	4	3	-49,746	-22,810
4	5	13,415	5,165	0,185	-4,489	5	4	-13,230	-9,654
Total loss								2,210	-24,296

4.1.2 Sistem IEEE 26 Bus

4.1.2.1 Data Kapasitas Pembangkit

Data kapasitas pembangkit pada sistem IEEE 26 bus adalah sebagai berikut:

Tabel 8 Data kapasitas pembangkit sistem IEEE 26 bus

Nama Unit Pembangkit	Daya (MW)	
	Minimum	Maksimum
Pembangkit 1 (P1)	100	500
Pembangkit 2 (P2)	50	200
Pembangkit 3 (P3)	80	300
Pembangkit 4 (P4)	50	150
Pembangkit 5 (P5)	50	200
Pembangkit 6 (P6)	50	120

Sumber: (Aribowo et al., 2022)

4.1.2.2 Data Karakteristik Biaya pada Sistem IEEE 26 Bus

Karakteristik biaya bahan bakar setiap unit-unit pembangkit di sistem IEEE 26 bus dapat dilihat pada tabel berikut:

Tabel 9 Karakteristik biaya bahan bakar sistem IEEE 26 bus

Nama Unit Pembangkit	α_i (\$/MW ²)	b_i (\$/MW)	c_i (\$)
Pembangkit 1 (P1)	0,0070	7,0	240
Pembangkit 2 (P2)	0,0095	10,0	200
Pembangkit 3 (P3)	0,0090	8,5	220
Pembangkit 4 (P4)	0,0090	11,0	200
Pembangkit 5 (P5)	0,0080	10,5	220
Pembangkit 6 (P6)	0,0075	12,0	190

Sumber: (Aribowo et al., 2022)

Berikut ini koefisien rugi-rugi transmisi sistem IEEE 26 bus sebagai berikut:

$$B = 10^{-3} \begin{pmatrix} 0,0170 & 0,0120 & 0,0070 & -0,0010 & -0,0050 & -0,0020 \\ 0,0120 & 0,0140 & 0,0090 & 0,0010 & -0,0060 & -0,0010 \\ 0,0070 & 0,0090 & 0,0310 & 0,0000 & -0,0100 & -0,0060 \\ -0,0010 & 0,0010 & 0,0000 & 0,0240 & -0,0060 & -0,0080 \\ -0,0050 & -0,0060 & -0,0100 & -0,0060 & 0,1290 & -0,0020 \\ -0,0020 & -0,0010 & -0,0060 & -0,0080 & -0,0020 & 0,1500 \end{pmatrix}$$

4.1.2.3 Hasil Optimasi Sistem IEEE 26 Bus

Metode *hybrid artificial bee colony and differential evolution* (HABCDE) yang diusulkan untuk masalah *economic dispatch* ini dibandingkan dengan metode pembandingan dari penelitian sebelumnya, yaitu: *Genetic Algorithm* (GA), dan *biogeography-based optimization* (BBO) untuk menilai efektivitas metode yang diusulkan.

Tabel 10 menunjukkan perbandingan biaya bahan bakar dan rugi-rugi transmisi sistem IEEE 26 bus dengan total beban 1263 MW.

Tabel 10 Hasil simulasi biaya bahan bakar pada sistem IEEE 26 bus

Algoritma	Biaya Bahan Bakar (\$/h)	Rugi-rugi Transmisi (MW)
GA	15572	12,5594
BBO	15488	12,8606
HABCDE	15443,9253	12,5285

Tabel 11 menunjukkan pembagian daya yang dihasilkan oleh masing-masing pembangkit sistem IEEE 26 bus.

Tabel 11 Hasil simulasi daya yang dihasilkan masing-masing pembangkit pada sistem IEEE 26 bus

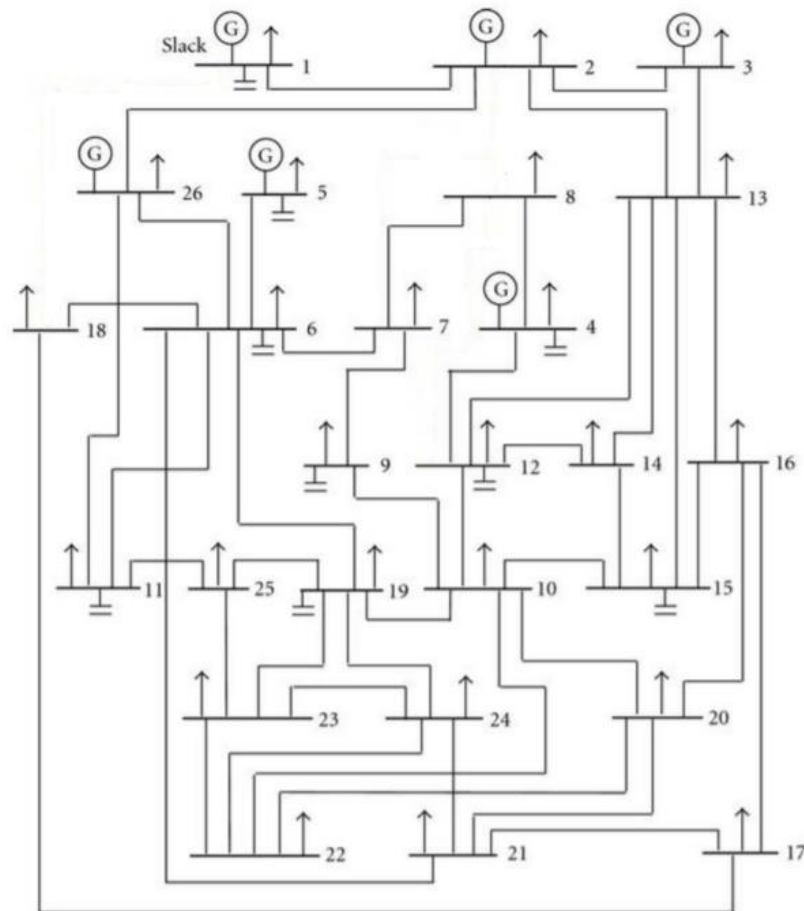
Nama Unit Pembangkit	Daya (MW)		
	GA	BBO	HABCDE
Pembangkit 1 (P1)	446,2860	447,51	446,376
Pembangkit 2 (P2)	165,0258	164,61	166,8648
Pembangkit 3 (P3)	259,9621	257,35	269,4507
Pembangkit 4 (P4)	136,5176	149,84	136,8554
Pembangkit 5 (P5)	164,5045	164,98	170,8751
Pembangkit 6 (P6)	103,2680	90,454	85,1256

Dari hasil pengoptimalan sistem IEEE 26 bus dengan 6 generator dengan proses *running* pada matlab selama 34,901 detik dapat diketahui bahwa dengan menggunakan metode *hybrid Artificial Bee Colony and Differential Evolution* (HABCDE) lebih optimal jika dibandingkan dengan metode GA, dan BBO (Mukherjee & Mukherjee, 2015).

Pada beban 1263 MW hasil simulasi biaya bahan bakar yang digunakan secara berturut-turut adalah metode GA sebesar 15572 \$/h dengan rugi-rugi 12,5594 MW, metode BBO sebesar 15488 \$/h dengan rugi-rugi 12,8606 MW. Sedangkan dengan menggunakan metode HABCDE biaya bahan bakar yang digunakan adalah 15443,9253 \$/h dan rugi-rugi transmisi yang terjadi adalah 12,5285 MW.

4.1.2.4 Gambar Sistem IEEE 26 Bus

Gambar pada sistem IEEE 26 bus, sebagai berikut:



Gambar 12 Sistem IEEE 26 Bus

4.1.3.5 Aliran Daya pada Sistem IEEE 26 Bus

Studi aliran daya yang dilakukan pada penelitian ini menggunakan metode Newton Rhapson. Berikut ini hasil simulasi pada aliran daya sistem IEEE 26 bus:

Tabel 12 Analisis aliran daya sistem IEEE 26 bus menggunakan metode Newton Rhapson

Bus Num	Volt, M (p.u)	Angle Degree	Load		Generation	
			MW	Mvar	MW	Mvar
1	1,025	0,000	51,000	41,000	446,367	245,790
2	1,020	-0,204	22,000	15,000	166,865	37,627
3	1,045	-0,559	64,000	50,000	269,451	67,876
4	1,060	-2,174	25,000	10,000	136,855	76,883
5	1,045	-1,323	50,000	30,000	170,875	137,256
6	1,002	-2,843	76,000	29,000	0,000	0,000
7	0,999	-2,430	0,000	0,000	0,000	0,000
8	1,003	-2,318	0,000	0,000	0,000	0,000
9	1,014	-4,397	89,000	50,000	0,000	0,000
10	0,995	-4,323	0,000	0,000	0,000	0,000
11	0,999	-2,823	25,000	15,000	0,000	0,000
12	1,000	-3,314	89,000	48,000	0,000	0,000
13	1,023	-1,194	31,000	15,000	0,000	0,000
14	1,010	-2,398	24,000	12,000	0,000	0,000
15	1,001	-3,193	70,000	31,000	0,000	0,000
16	0,992	-3,958	55,000	27,000	0,000	0,000
17	0,984	-4,321	78,000	38,000	0,000	0,000
18	1,008	-1,869	153,000	67,000	0,000	0,000
19	1,007	-6,040	75,000	15,000	0,000	0,000
20	0,987	-4,756	48,000	27,000	0,000	0,000
21	0,980	-5,374	46,000	23,000	0,000	0,000
22	0,983	-5,321	45,000	22,000	0,000	0,000
23	0,981	-6,366	25,000	12,000	0,000	0,000
24	0,972	-6,641	54,000	27,000	0,000	0,000
25	0,977	-6,220	28,000	13,000	0,000	0,000
26	1,015	-0,347	40,000	20,000	85,126	27,108
Total			1263,000	637,000	1275,539	592,541

Dari aliran daya tersebut diketahui total daya pembangkitan aktif dan reaktif masing-masing sebesar 1263,000 MW dan 637,000 MVAR. Sedangkan total daya beban aktif dan reaktif masing-masing sebesar 1275,539 MW dan 592,541 MVAR. Hal ini menunjukkan adanya kehilangan saluran sekitar 12,543 MW dan -23,718 MVAR untuk seluruh saluran yang digabungkan.

Tabel 13 Real and Reactive Power flow over different lines and losses

From bus	To bus	P, MW	Q, MVAR	Line Losses		From bus	To bus	P, MW	Q, MVAR
				L _{Active}	L _{Reactive}				
1	2	88,563	93,609	0,090	-5,487	2	1	-88,473	-99,096
1	18	306,808	115,182	1,347	-0,481	18	1	-305,461	-115,663
2	3	14,453	30,231	0,019	-10,425	3	2	-14,433	-40,656
2	7	72,036	23,856	0,579	-0,372	7	2	-71,456	-24,228
2	8	124,150	24,656	1,155	-2,968	8	2	-122,995	-27,624
2	13	21,002	40,002	0,072	-3,490	13	2	-20,930	-43,491
2	26	1,697	2,316	0,003	0,016	26	2	-1,695	-2,300
3	13	219,884	58,534	0,343	2,582	13	3	-219,541	-55,952
4	8	11,573	28,576	0,007	0,204	8	4	-11,566	-28,372
4	12	100,282	40,466	0,186	-0,626	12	4	-100,097	-41,092
5	6	120,875	112,257	1,880	-12,577	6	5	-118,995	-124,834
6	7	-21,004	14,599	0,035	-0,010	7	6	21,039	-14,608
6	11	0,313	5,395	0,003	-0,003	11	6	-0,310	-5,398
6	18	-79,462	-13,044	0,241	1,191	18	6	79,704	14,234
6	19	93,674	69,179	0,449	-1,098	19	6	-93,225	-70,277
6	21	49,474	21,216	0,149	-1,749	21	6	-49,325	-22,965
7	8	-36,883	-50,396	0,047	0,251	8	7	36,930	50,647
7	9	87,301	88,964	0,138	0,893	9	7	-87,163	-88,071
8	12	97,631	5,349	0,191	-2,292	12	8	-97,440	-7,641
9	10	-1,837	38,071	0,015	0,499	10	9	1,852	-37,572
10	12	-133,971	-8,156	0,449	0,410	12	10	134,420	8,567
10	19	11,025	-7,310	0,097	0,417	19	10	-10,928	7,727
10	20	58,018	28,113	0,277	0,476	20	10	-57,740	-27,637
10	22	63,076	24,925	0,322	0,413	22	10	-62,754	-24,512
11	25	21,764	-0,037	0,457	-0,669	25	11	-21,307	-0,632
11	26	-46,454	-8,065	0,367	1,344	26	11	46,820	9,408
12	14	-21,810	-4,098	0,161	0,395	14	12	21,971	4,494
12	15	-4,074	-1,735	0,004	0,012	15	12	4,077	1,746
13	14	86,032	34,820	0,379	2,026	14	13	-85,653	-32,794
13	15	63,384	25,321	0,516	2,716	15	13	-62,868	-22,605
13	16	60,055	24,302	0,720	3,363	16	13	-59,335	-20,940
14	15	39,682	16,301	0,124	0,689	15	14	-39,558	-15,612
15	16	28,348	5,970	0,175	0,429	16	15	-28,173	-5,542
16	17	9,094	-0,750	0,084	0,051	17	16	-9,010	0,801
16	20	23,414	0,231	0,133	0,326	20	16	-23,281	0,095
17	18	-72,544	-37,976	0,213	-3,548	18	17	72,757	34,429
17	21	3,555	-0,824	0,032	0,061	21	17	-3,523	0,886
19	23	8,436	18,067	0,118	0,514	23	19	-8,318	-17,554
19	24	14,150	24,710	0,240	0,962	24	19	-13,909	-23,748
19	25	6,568	9,773	0,164	0,231	25	19	-6,404	-9,542
20	21	7,301	1,569	0,038	0,090	21	20	-7,263	-1,479
20	22	25,720	-1,027	0,102	0,249	22	20	-25,618	1,276
21	24	14,112	0,558	0,099	0,314	24	21	-14,013	-0,245
22	23	17,068	-2,414	0,089	0,304	23	22	-16,979	2,718
22	24	26,304	3,649	0,226	0,642	24	22	-26,078	-3,007

23	25	0,297	2,836	0,008	0,010	25	23	-0,289	-2,826
Total Loss								12,543	-23,718

4.1.4 Sistem IEEE 30 Bus

4.1.4.1 Data Kapasitas Pembangkit

Data kapasitas pembangkit pada sistem IEEE 30 bus adalah sebagai berikut:

Tabel 14 Data kapasitas pembangkit

Nama Unit Pembangkit	Daya (MW)	
	Minimum	Maksimum
Pembangkit 1 (P1)	50	200
Pembangkit 2 (P2)	20	80
Pembangkit 3 (P3)	15	50
Pembangkit 4 (P4)	10	35
Pembangkit 5 (P5)	10	30
Pembangkit 6 (P6)	12	40

Sumber: (Touma, 2016)

4.1.3.2 Data Karakteristik Biaya pada Sistem IEEE 30 Bus

Karakteristik biaya bahan bakar setiap unit-unit pembangkit di sistem IEEE 30 bus dapat dilihat pada tabel berikut:

Tabel 15 Karakteristik biaya bahan bakar sistem IEEE 30 bus

Nama Unit Pembangkit	α_i (\$/MW ²)	b_i (\$/MW)	c_i (\$)
Pembangkit 1 (P1)	0,00375	2,00	0
Pembangkit 2 (P2)	0,01750	1,75	0
Pembangkit 3 (P3)	0,06250	1,00	0
Pembangkit 4 (P4)	0,00834	3,25	0
Pembangkit 5 (P5)	0,02500	3,00	0
Pembangkit 6 (P6)	0,02500	3,00	0

Sumber: (Touma, 2016)

Berikut ini koefisien rugi-rugi transmisi pada sistem IEEE 30 bus yaitu:

$$B = \begin{bmatrix} 0,000218 & 0,000103 & 0,000009 & -0,00010 & 0,000002 & 0,000027 \\ 0,000103 & 0,000181 & 0,000004 & -0,000015 & 0,000002 & 0,000030 \\ 0,000009 & 0,000004 & 0,000417 & -0,000131 & -0,000153 & -0,000107 \\ -0,00010 & -0,000015 & -0,000131 & 0,000221 & 0,000094 & 0,000050 \\ 0,000002 & 0,000002 & -0,000153 & 0,000094 & 0,000243 & -0,000000 \\ 0,000027 & 0,000030 & -0,000107 & 0,000050 & -0,000000 & 0,000358 \end{bmatrix}$$

4.1.3.3 Hasil Optimasi Sistem IEEE 30 Bus

Metode *hybrid artificial bee colony and differential evolution* (HABCDE) yang diusulkan untuk masalah *economic dispatch* ini dibandingkan dengan metode *Whale Optimization Algorithm* (WOA), *Genetic Algorithm* (GA), dan *Ant Colony Optimization* (ACO) untuk menilai efektivitas metode yang diusulkan. Tabel 12 menunjukkan perbandingan biaya bahan bakar dan rugi-rugi transmisi sistem IEEE 30 bus dengan total beban 283,40 MW.

Tabel 16 Hasil simulasi biaya bahan bakar pada sistem IEEE 30 bus

Algoritma	Biaya Bahan Bakar (\$/h)	Rugi-rugi Transmisi (MW)
WOA	800,2825	8,2972
GA	803,6990	9,5177
ACO	803,1230	9,4616
HABCDE	799,7513	8,0799

Tabel 13 menunjukkan pembagian daya yang dihasilkan oleh pembangkit pada sistem IEEE 30 bus.

Tabel 17 Hasil simulasi daya yang dihasilkan masing-masing pembangkit pada sistem IEEE 30 bus

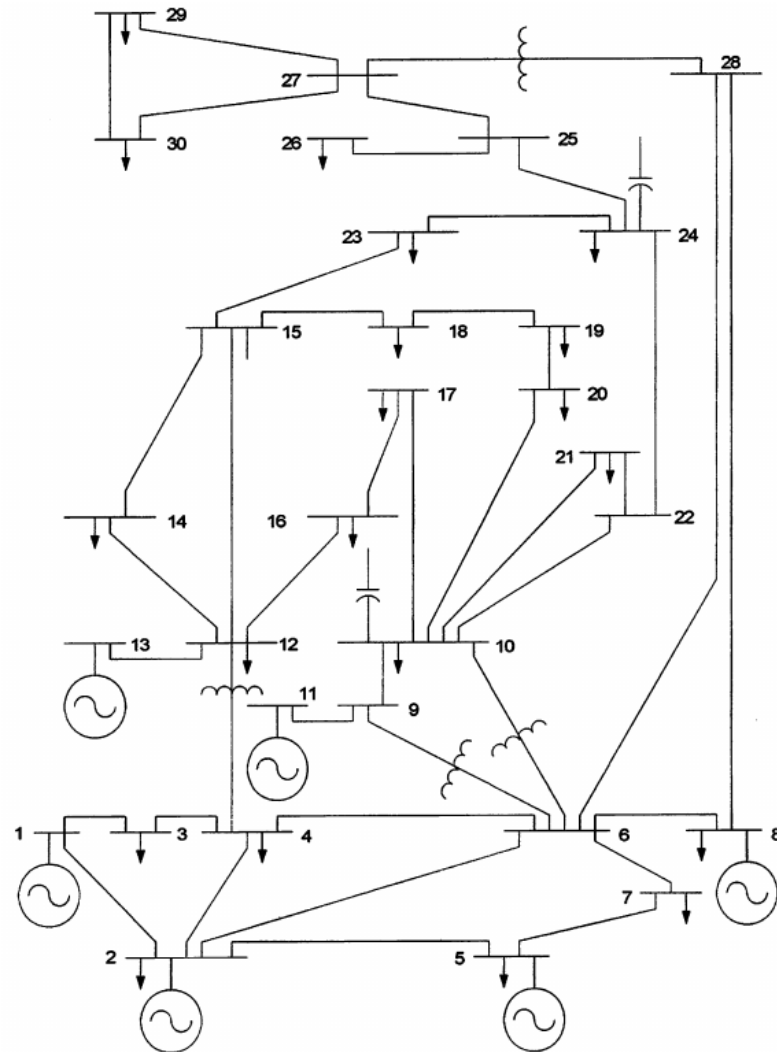
Nama Unit Pembangkit	Daya (MW)			
	WOA	GA	ACO	HABCDE
Pembangkit 1 (P1)	174,4379	179,367	177,863	173,601
Pembangkit 2 (P2)	47,8294	44,24	43,8366	44,1787
Pembangkit 3 (P3)	21,4578	24,61	20,893	21,5088
Pembangkit 4 (P4)	25,6931	19,90	23,1231	24,9517
Pembangkit 5 (P5)	10,1262	10,71	14,0255	15,3014
Pembangkit 6 (P6)	12,1515	14,09	13,1199	12

Dari hasil pengoptimalan sistem IEEE 30 bus dengan 6 generator dapat diketahui bahwa dengan menggunakan metode *hybrid Artificial Bee Colony and differential evolution* (HABCDE) lebih optimal jika dibandingkan dengan metode WOA, GA, dan ACO (Touma, 2016). Pada beban 283,40 MW dengan menggunakan metode WOA dan GA biaya bahan bakar yang digunakan adalah 800,2825 \$/h dan 803,699 \$/h dan rugi-rugi transmisi yang terjadi adalah 8,2972 MW dan 9,5177 MW. Sedangkan dengan menggunakan metode HABCDE biaya

bahan bakar yang digunakan adalah 799,1842 \$/h dan rugi-rugi transmisi yang terjadi adalah 7,779 MW.

4.1.3.4 Gambar Sistem IEEE 30 Bus

Gambar pada sistem IEEE 30 bus, sebagai berikut:



Gambar 13 Sistem IEEE 30 Bus

4.2 Data Real PLTU Mamuju

Data-data yang diperlukan untuk mencapai tujuan dari penelitian ini, yaitu: data kapasitas, data *input-output* tiap unit pembangkit.

4.2.1 Data Kapasitas Pembangkit

Besar kapasitas masing-masing unit pembangkit yang akan dioptimalkan pada PLTU Mamuju dapat dilihat pada tabel berikut.

Tabel 18 Data kapasitas pembangkit

Nama Unit	Daya (MW)	
	Minimum	Maksimum
PLTU Unit 1	10	30
PLTU Unit 2	10	30

(PLTU Mamuju, Oktober 2022)

4.2.2 Data Input Output Pembangkit

Data *input output* pembangkit digunakan untuk menentukan fungsi karakteristik *input output* unit pembangkitan. Data *input output* pembangkitan terdiri dari data bahan bakar yang digunakan untuk membangkitkan daya aktif di PLTU Mamuju. Adapun data *input output* dapat dilihat pada tabel 16 berikut ini:

Tabel 19 Data input output unit PLTU Mamuju selama satu minggu

No.	Waktu	Unit 1		Unit 2	
		Daya (MW)	Konsumsi Batu bara (Ton)	Daya (MW)	Konsumsi Batu bara (Ton)
1.	01:00	29,38	23,55	23,75	21,22
2.	02:00	18,19	15,45	15,19	15,06
3.	03:00	14,25	12,23	16,25	15,09
4.	04:00	14,88	12,17	16,63	14,14
5.	05:00	16,44	15,44	15,00	13,09
6.	06:00	16,38	15,20	14,69	14,06
7.	07:00	20,63	16,44	18,38	16,14
8.	08:00	29,31	24,75	23,94	21,06
9.	09:00	29,25	23,38	24,19	22,16
10.	10:00	29,31	23,52	23,94	21,20
11.	11:00	29,06	23,36	23,94	21,16
12.	12:00	29,38	23,76	23,94	23,17
13.	13:00	29,13	24,45	23,56	22,19
14.	14:00	29,50	24,83	23,25	21,20
15.	15:00	29,69	23,41	23,19	19,08
16.	16:00	29,44	22,58	23,13	20,17
17.	17:00	29,44	22,34	23,19	19,13
18.	18:00	29,56	23,88	23,31	20,11

Tabel 12 (lanjutan)

No.	Waktu	Unit 1		Unit 2	
		Daya (MW)	Konsumsi Batu bara (Ton)	Daya (MW)	Konsumsi Batu bara (Ton)
19.	19:00	29,56	22,39	23,50	19,17
20.	20:00	29,50	21,56	24,00	20,11
21.	21:00	29,44	21,47	23,94	19,20
22.	22:00	29,50	21,33	24,06	19,11
23.	23:00	29,56	21,31	24,00	20,14
24.	24:00	29,50	23,42	23,94	21,19
25.	01:00	29,56	21,45	24,13	19,09
26.	02:00	29,56	23,69	23,94	20,19
27.	03:00	29,25	22,66	23,94	20,16
28.	04:00	29,69	22,56	24,13	21,20
29.	05:00	29,31	22,36	23,94	20,13
30.	06:00	29,50	23,47	23,94	19,16
31.	07:00	29,38	22,86	24,06	21,16
32.	08:00	29,38	21,36	23,81	21,19
33.	09:00	29,44	24,13	23,88	18,19
34.	10:00	29,44	23,01	23,56	21,16
35.	11:00	29,44	21,92	23,75	20,16
36.	12:00	29,38	25,00	23,69	20,16
37.	13:00	29,31	21,42	23,69	20,16
38.	14:00	29,50	21,58	23,31	20,13
39.	15:00	29,44	24,41	22,88	19,11
40.	16:00	29,38	21,33	23,00	20,13
41.	17:00	29,38	24,81	23,44	19,16
42.	18:00	29,38	23,55	23,88	21,13
43.	19:00	29,44	22,73	23,88	20,20
44.	20:00	29,31	23,56	23,94	21,06
45.	21:00	29,50	22,77	23,88	20,22
46.	22:00	29,50	23,64	23,88	20,08
47.	23:00	29,25	21,41	23,94	20,16
48.	24:00	23,94	18,27	22,75	19,13
49.	01:00	23,50	18,56	20,31	18,16
50.	02:00	16,38	13,25	14,94	13,06
51.	03:00	16,50	13,28	14,69	13,14
52.	04:00	16,63	15,45	14,88	14,11
53.	05:00	16,63	12,13	15,19	14,08
54.	06:00	16,69	15,25	15,13	13,08
55.	07:00	28,56	22,33	21,81	19,17
56.	08:00	29,31	23,30	22,00	21,16
57.	09:00	29,38	23,47	23,94	21,16
58.	10:00	29,25	23,67	24,00	22,16
59.	11:00	29,31	24,80	23,88	21,17
60.	12:00	29,44	23,42	24,00	21,16

Tabel 12 (lanjutan)

No.	Waktu	Unit 1		Unit 2	
		Daya (MW)	Konsumsi Batu bara (Ton)	Daya (MW)	Konsumsi Batu bara (Ton)
61.	13:00	29,25	24,41	23,81	22,16
62.	14:00	29,13	22,52	23,56	20,19
63.	15:00	29,31	23,90	23,31	21,17
64.	16:00	29,44	24,61	22,25	20,20
65.	17:00	29,25	23,52	22,13	21,16
66.	18:00	29,19	23,41	22,25	19,11
67.	19:00	29,31	24,48	22,13	20,17
68.	20:00	29,38	22,59	22,25	20,08
69.	21:00	29,31	24,41	22,31	21,16
70.	22:00	29,31	24,72	22,50	21,16
71.	23:00	29,31	23,72	23,06	21,13
72.	24:00	29,38	22,48	23,31	21,16
73.	01:00	29,06	24,80	23,50	21,16
74.	02:00	15,25	16,23	15,63	14,09
75.	03:00	16,75	13,53	14,88	13,11
76.	04:00	16,63	14,23	14,75	15,16
77.	05:00	16,75	15,23	14,88	14,08
78.	06:00	16,63	12,41	14,63	15,20
79.	07:00	22,19	18,23	18,44	17,16
80.	08:00	29,50	24,56	24,00	22,16
81.	09:00	29,44	24,55	23,94	22,20
82.	10:00	29,50	24,42	23,25	21,25
83.	11:00	29,31	24,41	23,00	21,08
84.	12:00	29,50	24,45	22,69	21,16
85.	13:00	29,38	24,86	22,69	23,13
86.	14:00	29,38	26,42	22,13	21,13
87.	15:00	29,50	24,45	21,69	20,16
88.	16:00	29,38	24,34	22,63	21,16
89.	17:00	29,44	24,36	23,00	22,20
90.	18:00	29,31	24,42	23,50	21,16
91.	19:00	29,56	25,97	23,94	21,17
92.	20:00	29,38	22,30	23,94	20,16
93.	21:00	29,38	24,80	23,88	21,19
94.	22:00	29,44	24,56	24,00	20,16
95.	23:00	29,44	22,52	24,06	21,20
96.	24:00	29,31	22,41	23,88	19,20
97.	01:00	29,38	21,55	23,00	19,13
98.	02:00	29,38	21,33	22,69	18,09
99.	03:00	29,44	20,28	22,69	18,16
100.	04:00	29,44	21,59	22,63	18,12
101.	05:00	29,44	21,53	22,75	18,14
102.	06:00	29,44	21,86	22,56	19,16

Tabel 12 (lanjutan)

No.	Waktu	Unit 1		Unit 2	
		Daya (MW)	Konsumsi Batu bara (Ton)	Daya (MW)	Konsumsi Batu bara (Ton)
103.	07:00	29,50	22,77	22,94	19,09
104.	08:00	29,38	21,66	23,75	19,11
105.	09:00	29,38	21,27	23,06	19,16
106.	10:00	29,50	21,95	22,25	18,12
107.	11:00	29,31	21,61	22,19	18,16
108.	12:00	29,13	21,53	22,19	18,13
109.	13:00	29,38	19,70	21,56	16,08
110.	14:00	29,38	20,59	21,69	17,08
111.	15:00	29,25	21,61	21,75	18,08
112.	16:00	29,25	21,56	21,56	18,23
113.	17:00	29,31	21,56	21,69	18,09
114.	18:00	29,25	20,70	21,69	17,16
115.	19:00	29,38	21,58	21,75	17,16
116.	20:00	29,25	20,56	22,38	17,13
117.	21:00	29,31	20,50	22,44	18,16
118.	22:00	29,31	21,34	22,81	18,20
119.	23:00	29,25	19,28	23,38	19,19
120.	24:00	29,31	21,92	23,44	19,17
121.	01:00	29,38	21,77	23,44	18,17
122.	02:00	29,25	22,19	23,69	18,14
123.	03:00	29,25	21,39	23,38	18,16
124.	04:00	29,25	20,38	23,50	19,13
125.	05:00	29,38	19,33	23,44	19,12
126.	06:00	29,38	21,44	23,81	18,13
127.	07:00	29,19	21,47	23,94	19,16
128.	08:00	29,44	21,33	23,88	19,12
129.	09:00	29,19	21,56	22,69	18,06
130.	10:00	29,38	21,36	22,75	18,22
131.	11:00	29,25	19,48	22,50	18,06
132.	12:00	29,25	22,86	22,19	18,13
133.	13:00	29,38	20,25	21,69	18,12
134.	14:00	29,38	20,55	22,00	18,13
135.	15:00	29,19	21,61	22,88	18,12
136.	16:00	29,25	21,39	23,06	19,16
137.	17:00	29,44	21,55	22,88	18,11
138.	18:00	29,19	21,56	22,75	19,08
139.	19:00	29,31	21,69	22,31	19,17
140.	20:00	29,31	21,47	22,63	18,16
141.	21:00	29,38	23,37	22,94	18,11
142.	22:00	29,25	21,56	23,19	19,16
143.	23:00	29,31	21,59	23,75	20,14
144.	24:00	29,38	22,11	23,75	19,11

Tabel 12 (lanjutan)

No.	Waktu	Unit 1		Unit 2	
		Daya (MW)	Konsumsi Batu bara (Ton)	Daya (MW)	Konsumsi Batu bara (Ton)
145.	01:00	29,31	21,77	23,81	20,09
146.	02:00	29,25	22,58	24,06	19,11
147.	03:00	29,31	21,98	24,00	20,20
148.	04:00	29,31	21,05	24,00	19,16
149.	05:00	29,31	21,36	24,00	21,16
150.	06:00	29,31	21,38	24,00	18,20
151.	07:00	29,31	21,59	24,00	21,16
152.	08:00	29,31	21,42	23,94	18,13
153.	09:00	29,25	21,45	23,06	20,16
154.	10:00	29,31	22,61	22,31	18,16
155.	11:00	29,31	22,42	22,06	18,20
156.	12:00	29,31	22,00	22,25	19,16
157.	13:00	29,31	24,03	22,06	19,25
158.	14:00	29,25	22,36	21,50	19,03
159.	15:00	29,31	22,61	21,63	20,02
160.	16:00	29,31	23,61	21,50	19,22
161.	17:00	29,31	21,48	21,50	18,12
162.	18:00	29,31	22,03	21,63	18,12
163.	19:00	29,31	21,85	21,50	18,08
164.	20:00	29,25	22,41	21,69	18,16
165.	21:00	29,31	21,56	22,19	18,16
166.	22:00	29,31	21,41	22,19	18,12
167.	23:00	29,31	20,19	22,13	18,11
168.	24:00	29,31	21,30	22,25	18,20

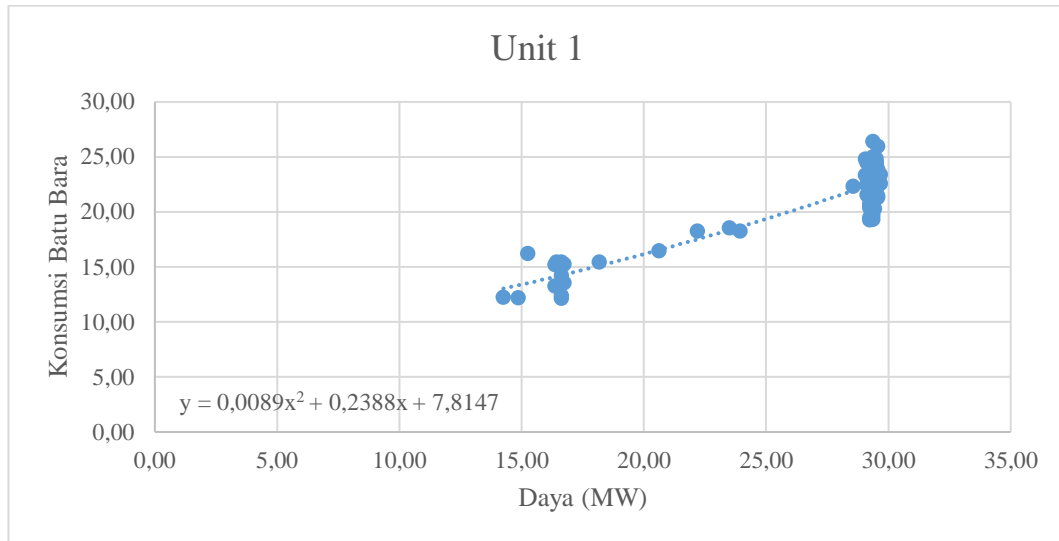
4.2.3 Fungsi Karakteristik Input Output Pembangkit

Data *input output* pembangkit pada bulan Oktober 2022 yang didapatkan dari PLTU Mamuju dapat dibuat menjadi suatu fungsi persamaan konsumsi batu bara pada kedua unit pembangkit. Berdasarkan data *input output* yang ada pada tabel di atas, dengan menggunakan sebuah program sederhana (dengan *least-square method*) maka karakteristik bahan bakar terhadap daya adalah sebagai berikut:

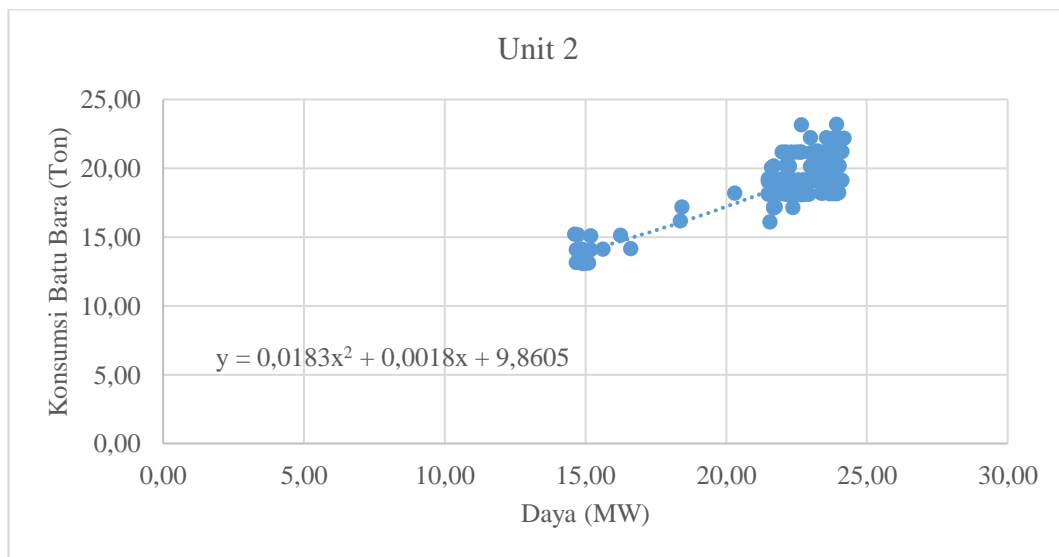
Tabel 20 Fungsi karakteristik input-output pembangkit

Unit Pembangkit	Fungsi Karakteristik Input-Output Pembangkit
Unit 1	$0,0089 P_1^2 + 0,2388 P_1 + 7,8147$
Unit 2	$0,0183 P_2^2 + 0,0018 P_2 + 9,8605$

Fungsi pada tabel di atas menggambarkan kurva karakteristik *input output* pada diagram kartesius sebagai berikut.



Gambar 14 Diagram kartesius fungsi input-output pembangkit unit 1



Gambar 15 Diagram Kartesius Fungsi Input-Output Pembangkit Unit 2

4.2.4 Fungsi Biaya Bahan Bakar

Pembangkit listrik dapat dinyatakan dalam persamaan fungsi biaya bahan bakar yang dapat diperoleh dengan cara mengalikan harga batu bara dengan persamaan fungsi karakteristik *input output* pembangkit. Berdasarkan Harga Mineral dan Batu bara Acuan untuk Bulan Oktober 2022 ditetapkan harga batu bara yaitu sebesar USD 330,97 (tiga ratus tiga puluh koma Sembilan puluh tujuh dollar Amerika Serikat) per ton atau setara dengan Rp. 5.151.500,00 (lima juta seratus lima puluh satu ribu lima ratus rupiah).

Fungsi biaya bahan bakar diperoleh dengan cara mengalikan fungsi konsumsi batu bara dengan harga batu bara:

$$\begin{aligned} F_1(P_1) &= 5151500 \times C_1P_1 \\ &= 5151500 (0,0089 P_1^2 + 0,2388 P_1 + 7,8147) \\ &= 45848,35 P_2^2 + 1230178,2 P_2 + 40257427,05 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} F_2(P_2) &= 5151500 \times C_2P_2 \\ &= 5151500 (0,0183 P_2^2 + 0,0018 P_2 + 9,8605) \\ &= 94272,45 P_2^2 + 9272,7 P_2 + 50796365,75 \end{aligned}$$

Sehingga didapatkan fungsi biaya bahan bakar tiap unit pembangkit seperti pada tabel berikut.

Tabel 21 Fungsi biaya bahan bakar pembangkit

Unit Pembangkit	Fungsi Biaya Bahan Bakar Pembangkit
Unit 1	$45848,35 P_2^2 + 1230178,2 P_2 + 40257427,05$
Unit 2	$94272,45 P_2^2 + 9272,7 P_2 + 50796365,75$

4.2.5 Optimasi Biaya Bahan Bakar Pembangkit PLTU Mamuju

Optimasi biaya bahan bakar pembangkit dapat dilakukan dengan mencari biaya operasi terendah yang bisa didapatkan dari hubungan antara fungsi biaya bahan bakar pembangkit dan daya yang dibangkitkan dari tiap unit pembangkit, di mana setiap unit pembangkit memiliki karakteristik yang berbeda-beda yang dapat mempengaruhi biaya pembangkitan itu sendiri.

Biaya bahan bakar terendah didapatkan dengan cara membagi pembebanan pada setiap unit pembangkit sehingga diperoleh kombinasi unit pembangkit yang dapat memenuhi kebutuhan beban dengan nilai biaya bahan bakar yang optimum atau dengan kata lain untuk mencari nilai optimum dari output daya dari kombinasi unit pembangkit yang bertujuan untuk meminimalkan total biaya bahan bakar pembangkit.

Pada Tabel 18 dapat dilihat hasil perbandingan hasil sebelum dan setelah pada hari senin 31 Oktober 2022 (hari kerja) optimasi biaya bahan bakar (*economic dispatch*) dari 2 unit pembangkit di mana setiap jam kondisi beban atau kebutuhan daya aktif selalu berubah-ubah dan berdasarkan data yang dihasilkan setelah optimasi didapatkan bahwa dengan penjadwalan pengoperasian pembangkit yang tepat akan menghasilkan penghematan biaya bahan bakar pada pembangkit.

Menggunakan fungsi bahan bakar pada tabel 17 dan batasan pada masing-masing pembangkit, yaitu: $10 \leq P_1 \leq 30$ dan $10 \leq P_2 \leq 30$. Berikut ini hasil perbandingan sebelum dan setelah dilakukan optimasi pada hari kerja, yaitu hari senin 31 oktober 2022. Optimasi dilakukan dengan menggunakan metode *hybrid artificial bee colony and differential evolution* (HABCDE).

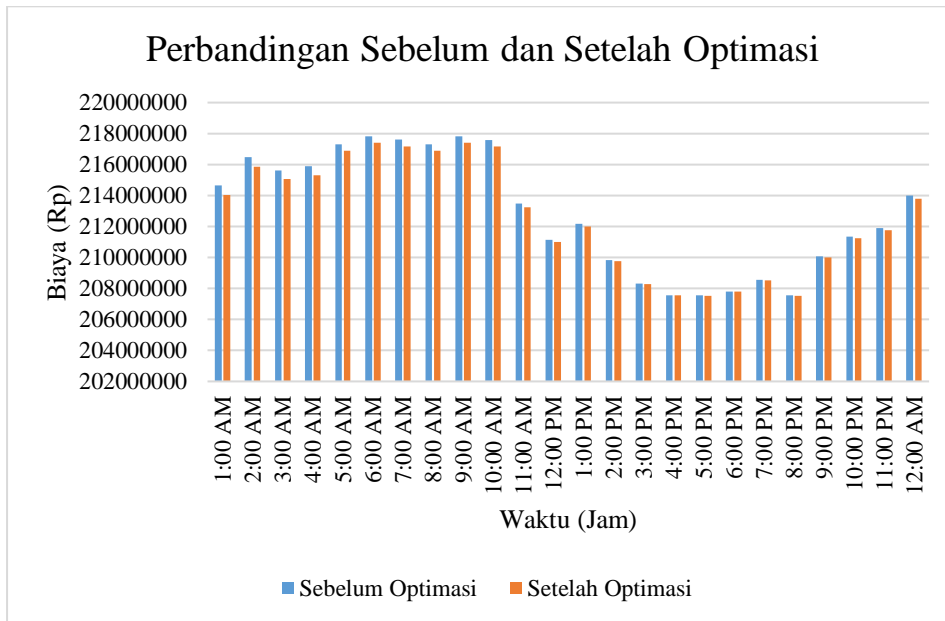
Tabel 22 Perbandingan hasil sebelum dan setelah optimasi pembangkit pada hari kerja

Waktu	Total Beban (MW)	Sebelum Optimasi			Setelah Optimasi			Total Biaya Penghematan (Rp)
		Unit 1 (MW)	Unit 2 (MW)	Total Biaya Bahan Bakar (Rp/Jam)	Unit 1 (MW)	Unit 2 (MW)	Total Biaya Bahan Bakar (Rp/Jam)	
(a)	(b)	(c)	(d)	(e)	(f)	(g)	(h)	(i)
01:00	51,75	28,31	23,44	214638176,4	30	21,75	214021197,8617	616978,5383
02:00	52,19	28,50	23,69	216467653,9	30	22,19	215847915,2534	619738,6466
03:00	52,00	28,50	23,50	215634062,8	30	22,00	215054662,0484	579400,7516
04:00	52,06	28,56	23,50	215876387,4	30	22,06	215304303,0545	572084,3455
05:00	52,44	29,00	23,44	217292369,5	30	22,44	216902098,4012	390271,0988
06:00	52,56	29,06	23,50	217808609,9	30	22,56	217412340,2556	396269,6444
07:00	52,50	28,94	23,56	217601973,6	30	22,50	217156780,0227	445193,5773
08:00	52,44	29,00	23,44	217292369,5	30	22,44	216902098,4012	390271,0988
09:00	52,56	29,06	23,50	217808609,9	30	22,56	217412340,2556	396269,6444
10:00	52,50	29,00	23,50	217567291,9	30	22,50	217156780,0227	410511,8773
11:00	51,56	29,06	22,50	213466699,6	29,9986	21,5614	213243859,6522	222839,9478
12:00	51,00	28,94	22,06	211132551,6	29,9999	21,0002	210991682,8371	140868,7629
13:00	51,25	29,00	22,25	212164495,3	30	21,2500	211989723,0241	174772,2759
14:00	50,69	29,00	21,69	209831399,7	29,8648	20,8257	209765257,406	66142,294
15:00	50,31	29,00	21,31	208303716,2	29,5325	20,7783	208264980,28	38735,92
16:00	50,13	28,94	21,19	207564785,1	29,3224	20,8082	207557462,4404	7322,6596
17:00	50,125	29,00	21,13	207553862,6	29,3082	20,8174	207537964,0343	15898,5657
18:00	50,19	29,00	21,19	207801746,5	29,3419	20,8490	207794351,9318	7394,5682
19:00	50,38	29,13	21,25	208541260,2	29,5316	20,8485	208537444,0327	3816,1673
20:00	50,125	29,13	21,00	207543189,3	29,3082	20,8174	207537964,0343	5225,2657
21:00	50,75	29,13	21,63	210060461,7	29,7495	21,001	210001011,9747	59449,7253
22:00	51,06	29,06	22,00	211360606,1	30	21,06	211230094,3936	130511,7064

Tabel 18 (lanjutan)

Waktu	Total Beban (MW)	Sebelum Optimasi			Setelah Optimasi			Total Biaya Penghematan (Rp)
		Unit 1 (MW)	Unit 2 (MW)	Total Biaya Bahan Bakar (Rp/Jam)	Unit 1 (MW)	Unit 2 (MW)	Total Biaya Bahan Bakar (Rp/Jam)	
(a)	(b)	(c)	(d)	(e)	(f)	(g)	(h)	(i)
22:00	51,06	29,06	22,00	211360606,1	30	21,06	211230094,3936	130511,7064
23:00	51,19	29,06	22,13	211885631,8	29,9985	21,1915	211749141,2999	136490,5001
24:00	51,69	29,06	22,63	213995719,1	30	21,69	213774965,5956	220753,5044
Total Biaya (selama 24 jam)			5109193630			5103146419		6047211,086

Adapun perbandingan hasilnya dapat diuraikan seperti pada gambar grafik berikut:



Gambar 16 Grafik perbandingan sebelum dan setelah optimasi pada hari kerja

Berdasarkan Tabel 18 menunjukkan bahwa selama 24 jam pada hari kerja jumlah biaya bahan bakar yang digunakan adalah Rp. 5109193630, kemudian setelah dilakukan optimasi maka biaya bahan bakar yang digunakan adalah Rp. 5103146419. Hal ini menunjukkan bahwa telah dilakukan penghematan sebesar Rp. 6047211,086. Dengan demikian, dapat diketahui bahwa data yang diperoleh setiap jam terjadi penghematan biaya yang terdapat pada masing-masing pembangkit setelah optimasi dilakukan.

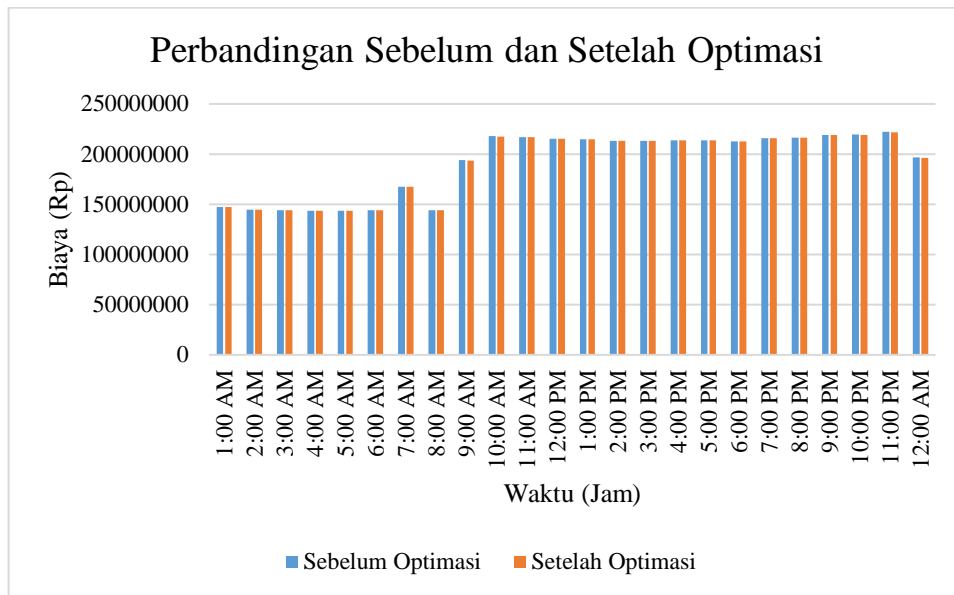
Menggunakan fungsi bahan bakar pada tabel 17 dan batasan pada masing-masing pembangkit, yaitu: $10 \leq P_1 \leq 30$ dan $10 \leq P_2 \leq 30$. Berikut ini hasil perbandingan sebelum dan setelah dilakukan optimasi pada hari akhir pekan, yaitu hari sabtu 8 oktober 2022. Optimasi dilakukan dengan menggunakan metode *hybrid artificial bee colony and differential evolution* (HABCDE).

Tabel 23 Perbandingan sebelum dan setelah optimasi pada hari akhir pekan

Waktu	Total Beban (MW)	Sebelum Optimasi			Setelah Optimasi			Total Biaya Penghematan (Rp)
		Unit 1 (MW)	Unit 2 (MW)	Total Biaya Bahan Bakar (Rp/Jam)	Unit 1 (MW)	Unit 2 (MW)	Total Biaya Bahan Bakar (Rp/Jam)	
(a)	(b)	(c)	(d)	(e)	(f)	(g)	(h)	(i)
01:00	32,19	17,00	15,19	147101286,2	17,2311	14,9591	147098376,4503	2909,7497
02:00	31,25	16,44	14,81	144484394,3	16,641	14,6092	144477530,6014	6863,6986
03:00	31,06	16,31	14,75	143969498,4	16,5717	14,4883	143954172,8952	15325,5048
04:00	30,937	16,31	14,63	143619456,7	16,4598	14,4773	143616831,2107	2625,4893
05:00	31,00	16,31	14,69	143794083	16,5417	14,4583	143789438,732	4644,268
06:00	31,125	16,44	14,69	144135593,8	16,6752	14,4499	144133916,5339	1677,2661
07:00	38,88	20,19	18,69	167667963	21,8059	17,0753	167324694,9016	343268,0984
08:00	31,19	16,38	14,81	144314852	16,4989	14,6912	144313948,4344	903,5656
09:00	46,50	25,19	21,31	194140088,5	19,462	27,0381	193721254,0139	418834,4861
10:00	52,56	29,13	23,44	217779258,7	30	22,5601	217412446,5428	366812,1572
11:00	52,44	29,38	23,06	217105589,3	30	22,44	216902139,6455	203449,6545
12:00	52,06	29,38	22,69	215489072,5	30	22,06	215304500,4524	184572,0476
13:00	51,88	29,44	22,44	214666359,4	30	21,88	214557026,86	109332,54
14:00	51,50	29,38	22,13	213105384,6	30	21,5	212999641,4308	105743,1692
15:00	51,50	29,38	22,13	213105384,6	30	21,5	212999641,4308	105743,1692
16:00	51,63	29,44	22,19	213612600,9	30	21,63	213529414,1344	83186,7656
17:00	51,63	29,44	22,19	213612337,7	30	21,63	213529414,1344	82923,5656
18:00	51,38	29,31	22,06	212599520,1	30	21,3802	212514080,7486	85439,3514
19:00	52,13	29,44	22,69	215732165,1	30	22,1301	215596778,037	135387,063
20:00	52,31	29,38	22,94	216566709,4	30	22,31	216352395,1621	214314,2379

21:00	52,94	29,44	23,50	219275707,7	30	22,9401	219046207,7771	229499,9229
22:00	52,94	29,38	23,56	219307905	30	22,9401	219046207,7771	261697,2229
23:00	53,56	29,38	24,19	222131654,6	30	23,5601	221769348,9059	362305,6941
24:00	47,13	25,63	21,50	196459801,4	27,3895	19,7407	196063143,8774	396657,5226
Total Biaya (selama 24 jam)			4593776667			4590052551		3724116,21

Adapun perbandingan hasilnya dapat diuraikan seperti pada gambar grafik berikut:



Gambar 17 Grafik perbandingan sebelum dan setelah dilakukan optimasi pada akhir pekan

Berdasarkan Tabel 19 menunjukkan bahwa selama 24 jam pada akhir pekan jumlah biaya bahan bakar yang digunakan adalah Rp. 4593776667, kemudian setelah dilakukan optimasi maka biaya bahan bakar yang digunakan adalah Rp. 4590052551. Hal ini menunjukkan bahwa telah dilakukan penghematan sebesar Rp. 3724116,21. Dengan demikian, dapat diketahui bahwa data yang diperoleh setiap jam terjadi penghematan biaya yang terdapat pada masing-masing pembangkit setelah optimasi dilakukan.

BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan, dapat ditarik kesimpulan sebagai berikut:

1. Optimasi dilakukan dengan menentukan karakteristik *input output*, menentukan fungsi bahan bakar, dan menghitung biaya bahan bakar. Yang mana metode *least square* digunakan untuk menentukan karakteristik *input output* dari masing-masing pembangkit. Lalu dilanjutkan dengan mencari fungsi biaya bahan bakar. Kemudian simulasi dengan menggunakan metode *hybrid artificial bee colony and differential evolution* digunakan untuk membagi daya pada masing-masing pembangkit secara optimal sehingga dapat meminimalkan penggunaan biaya bahan bakar.
2. Hasil simulasi menunjukkan bahwa dengan menggunakan metode *hybrid Artificial Bee Colony and differential evolution* (HABCDE) pada sistem IEEE 5 bus, 26 bus, dan 30 bus lebih murah dibandingkan dengan metode pembanding lainnya. Pada sistem PLTU Mamuju, diperoleh penghematan biaya bahan bakar yaitu: pada hari kerja sebesar Rp. 6047211,086 dan pada akhir pekan sebesar Rp. 3724116,21.

5.2 Saran

Berdasarkan kesimpulan yang telah diuraikan di atas, maka penulis akan memberikan beberapa saran sebagai berikut

1. Hasil simulasi dapat digunakan sebagai penunjang pengambilan keputusan oleh operator pembangkit agar diperoleh biaya yang lebih minimal.
2. Penelitian ini kiranya dapat dijadikan sebagai referensi untuk pengembangan penelitian-penelitian selanjutnya.

DAFTAR PUSTAKA

- Adefarati, T., Oluwole, A. S., & Sanusi, M. A. (2013). Computational Solution to Economic Operation of Power Plants Computational Solution to Economic Operation of Power Plants. *Electrical and Electronic Engineering*, May 2017. <https://doi.org/10.5923/j.eee.20130306.01>
- Alanazi, M. S. (2021). A Modified Teaching - Learning-Based Optimization for Dynamic Economic Load Dispatch Considering Both Wind Power and Load Demand Uncertainties with Operational Constraints. *IEEE Access*, 9, 101665–101680. <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2021.3097985>
- Al-Qaedi, M. R. (2018). Analisis economic dispatch pada pembangkit termal sistem 500 kv jawa bali menggunakan metode firefly algorithm. *SKRIPSI*.
- Aribowo, W., Supari, & Suprianto, B. (2022). A hunger game search algorithm for economic load dispatch. *IAES International Journal of Artificial Intelligence*, 11(2), 632–640. <https://doi.org/10.11591/ijai.v11.i2.pp632-640>
- Bhongade, S., & Agarwal, S. (2016). An optimal solution for Combined Economic and Emission Dispatch problem using Artificial Bee Colony Algorithm. 2016 - Biennial International Conference on Power and Energy Systems: Towards Sustainable Energy, PESTSE 2016. <https://doi.org/10.1109/PESTSE.2016.7516478>
- Bono, Wahyono, & S., M. B. (2017). Analisis Konsumsi Batubara Spesifik Ditinjau dari Nilai Kalor Batubara dan Perubahan Beban di PLTU Tanjung Jati B Unit 2. *EKSERGI Jurnal Teknik Energi*, 13(2), 50–53.
- Chellappan, R., & Kavitha, D. (2017). Economic and emission load dispatch using Cuckoo search algorithm. *Innovations in Power and Advanced Computing Technologies*, i-PACT 2017, 2, 1–7. <https://doi.org/10.1109/IPACT.2017.8245023>
- Chen, G., & Zhao, Z. (2017). Transactions on Power Systems Delay Effects on Consensus-based Distributed Economic Dispatch Algorithm in Microgrid. 8950(c), 1–11. <https://doi.org/10.1109/TPWRS.2017.2702179>
- Darmawan, I., Waluyo, J., & Masruroh, N. A. (2019). Unit Commitment Problem Menggunakan Algoritma Binary Particle Swarm Optimization Studi Kasus: Sistem Kelistrikan Kabupaten Sumbawa. *Seminar Nasional Inovasi Dan Aplikasi Teknologi Di Industri 2019*, 104–109.
- Dey, B., Bhattacharyya, B., & Márquez, F. P. G. (2021). A hybrid optimization-based approach to solve environment constrained economic dispatch problem on microgrid system. *Journal of Cleaner Production*, 307(April). <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2021.127196>
- Ellahi, M., & Abbas, G. (2020). A Hybrid Metaheuristic Approach for the Solution of Renewables-Incorporated Economic Dispatch Problems. *IEEE Access*, 8, 127608–127621. <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2020.3008570>
- Ellahi, M., Abbas, G., Satrya, G. B., Usman, M. R., & Gu, J. (2021). A Modified Hybrid Particle Swarm Optimization with Bat Algorithm Parameter Inspired Acceleration Coefficients for Solving Eco-Friendly and

- Economic Dispatch Problems. *IEEE Access*, 82169–82187. <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2021.3085819>
- Fitasari, N. (2019). Analisis Pengaruh Nilai Kalori Batu Bara Terhadap Efisiensi Pembakaran Pada Boiler PT. Rekind Daya Mamuju 2×25 MW. Politeknik ATI Makassar: Makassar.
- Gamayanti, N., Alkaff, A., & Karim, A. (2015). Optimisasi Dynamic Economic Dispatch Menggunakan Algoritma Artificial Bee Colony. *JAVA Journal of Electrical and Electronics Engineering*, Volume13, Number, 23–28.
- Haripuddin, Suyuti, A., Said, S. M., & Akil, Y. S. (2019). Dynamic economic dispatch for 150 kV suselbar power generation systems using artificial bee colony algorithm. 2019 International Conference on Information and Communications Technology, ICOIACT 2019, 817–822. <https://doi.org/10.1109/ICOIACT46704.2019.8938474>
- Hong, Y., Zhou, Y., Li, Q., Xu, W., & Zheng, X., “A deep learning method for short-term residential load forecasting in smart grid,” *IEEE Access*, vol. 8, pp. 55785–55797, 2020.
- Jadon, S. S., Tiwari, R., Sharma, H., & Bansal, J. C. (2017). Hybrid Artificial Bee Colony Algorithm with Differential Evolution. *Applied Soft Computing Journal*. <https://doi.org/10.1016/j.asoc.2017.04.018>
- Khan, N. A., Sidhu, G. A. S., & Gao, F. (2016). Optimizing Combined Emission Economic Dispatch for Solar Integrated Power Systems. *IEEE Access*, 4(c), 3340–3348. <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2016.2587665>
- Lin, L., Guan, X., Peng, Y., Wang, N., Maharjan, S., & Ohtsuki, T. (2020). Deep Reinforcement Learning for Economic Dispatch of Virtual Power Plant in Internet of Energy. *IEEE Internet of Things Journal*, 7(7), 6288–6301. <https://doi.org/10.1109/JIOT.2020.2966232>
- Liu, Z., Xiao, Z., Wu, Y., Hou, H., Xu, T., Zhang, Q., & Xie, C. (2021). Integrated Optimal Dispatching Strategy Considering Power Generation and Consumption Interaction. *IEEE Access*, 9, 1338–1349. <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2020.3045151>
- Mahaputra, D. J., Wibowo, R. S., & Priyadi, A. (2017). Economic dan Emission Dispatch pada Sistem Kelistrikan 500 kV Jawa-Bali Menggunakan Composite Generation Cost Function dengan Metode Cuckoo Optimization Algorithm. *Jurnal Teknik ITS*, 6(1). <https://doi.org/10.12962/j23373539.v6i1.21289>
- Nappu, M., Arief, A., Soalehe, S., & Rianty, M. (2019). Economic dispatch of Jeneponto thermal power plant for primary energy efficiency Economic dispatch of Jeneponto thermal power plant for primary energy efficiency. *Journal of Physics*, 5, 052017. <https://doi.org/10.1088/1742-6596/1341/5/052017>
- Nassar, M. Y., Abdullah, M. N., & Rahimoon, A. A. (2020). Optimal economic dispatch of power generation solution using lightning search algorithm. *IAES International Journal of Artificial Intelligence*, 9(3), 371–378. <https://doi.org/10.11591/ijai.v9.i3.pp371-378>
- Nasir, M., Sadollah, A., Aydilek, İ. B., Lashkar Ara, A., & Nabavi-Niaki, S. A. (2021). A combination of FA and SRPSO algorithm for Combined Heat

- and Power Economic Dispatch. *Applied Soft Computing*, 102, 107088. doi:10.1016/j.asoc.2021.107088
- Nugroho, A. B., Purwitasari, D., & Fatichah, C. (2016). Implementasi Artificial Bee Colony untuk Pemilihan Titik Pusat pada Algoritma K-Means. *Jurnal Teknik ITS*, 5(2). <https://doi.org/10.12962/j23373539.v5i2.19645>.
- Patoding, Hestika Eirene., Sau, Matius. (2019). *Buku Ajar Energi dan Operasi Tenaga Listrik dengan Aplikasi ETAP*. Budi Utama: Yogyakarta.
- Pertiwi, N. P., Siregar, R. H., Tgk, J., Abdurrauf, S., & Aceh, B. (2018). Analisa Economic Dispatch Pada Unit Pembangkit Menggunakan Metode Iterasi Lambda Berdasarkan Base Point and Participation Factors. *Jurnal Komputer, Informasi Teknologi, dan Elektro*, 3(2), 24–29.
- Polanunu, M. H. (2021). Optimisasi Ekonomis Pembangkit Listrik Tenaga Thermal dengan Menggunakan Metode Algoritma Genetika.
- Pramudia, D. (2018). Penyelesaian Economic Dispatch Pada Unit Unit Pembangkit Thermal Dengan Menggunakan Artificial Bee Colony (Abc) Algorithm. *Jurnal Teknik Elektro Universitas Tanjungpura*. <https://jurnal.untan.ac.id/index.php/jteuntan/article/view/30116>
- Purwoharjono. (2021). Modified Cuckoo Search Algorithm For Solving Optimal Power Flow Problem. *Journal of Theoretical and Applied Information Technology*, 99(5), 1111–1121.
- Qin, Y., Hu, H., Shi, Y., Liu, Y., & Gao, H. (2016). An artificial bee colony algorithm hybrid with differential evolution for multi-temporal image registration. *Chinese Control Conference, CCC, 2016-August*, 2734–2739. <https://doi.org/10.1109/ChiCC.2016.7553778>
- Risnawati, E. F., & Ulinuha, N. (2020). Optimasi Pembagian Beban Pada Turbin Gas Blok 1 dan Blok 3 Pltgu PT. PJB UP Gresik Menggunakan Metode Iterasi Lambda Berdasarkan Base Point and Participation Factors. *Kubik: Jurnal Publikasi Ilmiah Matematika*, 5(2), 83–94. <https://doi.org/10.15575/kubik.v5i2.5094>.
- RUPTL. (2021). *Rencana Usaha Penyediaan Tenaga Listrik (RUPTL) PT PLN (Persero)*.
- Sakthivel, V. P., Suman, M., & Sathya, P. D. (2021). Combined economic and emission power dispatch problems through multi-objective squirrel search algorithm. *Applied Soft Computing*, 100, 106950. <https://doi.org/10.1016/j.asoc.2020.106950>
- Sen, T., & Mathur, H. D. (2016). A new approach to solve Economic Dispatch problem using a Hybrid ACO–ABC–HS optimization algorithm. *International Journal of Electrical Power & Energy Systems*, 78, 735–744. doi:10.1016/j.ijepes.2015.11.121
- Sheta, A., Faris, H., Braik, M., & Mirjalili, S. (2020). Nature-Inspired Metaheuristics Search Algorithms for Solving the Economic Load Dispatch Problem of Power System: A Comparison Study (Issue August 2019). Springer Singapore. <https://doi.org/10.1007/978-981-13-9263-4>
- Spea, S. R. (2017). Economic-emission dispatch problem using firefly algorithm. 2017 Nineteenth International Middle East Power Systems Conference (MEPCON). doi:10.1109/mepcon.2017.8301253

- Suyono, H., Subekti, E., Purnomo, H., Nurwati, T., & Hasanah, R. N. (2020). Economic Dispatch of 500 kV Java-Bali Power System using Hybrid Particle Swarm-Ant Colony Optimization Method. 2020 12th International Conference on Electrical Engineering, ICEENG 2020, 5–10. <https://doi.org/10.1109/ICEENG45378.2020.9171771>
- Syam, S. (2020). Optimasi Pembangkit Listrik Hidro-Termal dengan Menggunakan Metode Gradien Orde Dua. Deepublish.
- Touma, H. J. (2016). Study of The Economic Dispatch Problem on IEEE 30-Bus System using Whale Optimization Algorithm. INTERNATIONAL JOURNAL OF ENGINEERING TECHNOLOGY AND SCIENCES (IJETS), 5(June), 11–18.
- Ustun, D., & Akdagli, A. (2017). A study on the performance of the hybrid optimization method based on artificial bee colony and differential evolution algorithms. IDAP 2017 - International Artificial Intelligence and Data Processing Symposium, 4–8. <https://doi.org/10.1109/IDAP.2017.8090346>
- Virgiansyah, G. B. (2017). Dynamic Economic Dispatch Pada Sistem Dengan Wind Turbine Dan Media Penyimpanan Energi Mempertimbangkan Energy Cycle Limit. Electrical Engineering Departement, Faculty of Electrical Technology Sepuluh Nopember, Institute of Technology Surabaya.
- Wulandhari, L. A., Komsiyah, S., & Wicaksono, W. (2018). Bat Algorithm Implementation on Economic Dispatch Optimization Problem. Procedia Computer Science, 135, 275–282. <https://doi.org/10.1016/j.procs.2018.08.175>
- Younes, M., Khodja, F., & Kherfane, R. L. (2014). Multi-objective economic emission dispatch solution using hybrid FFA (firefly algorithm) and considering wind power penetration. Energy, 67, 595–606. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2013.12.043>

LAMPIRAN

Lampiran 1 Data operasional PLTU PT. Rekind Daya Mamuju

Date	Hours	GGO raw (mWH)		CC (Ton)		TOTAL PEMAKAIAN BATU BARA (TON)
		unit1	unit2	UNIT-1	UNIT-2	GAR ≤ 3900
18/10/2022	1:00 AM	28,06	22,63	21,83	20,16	41,98
18/10/2022	2:00 AM	16,50	14,63	13,16	12,09	25,25
18/10/2022	3:00 AM	16,50	14,88	12,41	12,09	24,50
18/10/2022	4:00 AM	16,44	14,56	12,14	13,03	25,17
18/10/2022	5:00 AM	16,50	14,88	13,56	12,09	25,66
18/10/2022	6:00 AM	25,81	23,06	19,31	18,06	37,37
18/10/2022	7:00 AM	29,19	23,88	20,25	20,13	40,37
18/10/2022	8:00 AM	29,19	24,00	21,52	19,08	40,59
18/10/2022	9:00 AM	29,25	23,63	21,39	19,13	40,52
18/10/2022	10:00 AM	29,19	23,25	21,36	19,20	40,56
18/10/2022	11:00 AM	29,19	22,75	20,31	18,16	38,47
18/10/2022	12:00 PM	29,25	21,81	21,36	18,17	39,53
18/10/2022	1:00 PM	29,00	21,63	20,52	17,16	37,67
18/10/2022	2:00 PM	29,25	21,94	21,52	17,14	38,66
18/10/2022	3:00 PM	29,31	22,00	20,80	18,14	38,94
18/10/2022	4:00 PM	29,18	21,94	20,73	17,09	37,83
18/10/2022	5:00 PM	29,13	22,13	20,52	18,16	38,67
18/10/2022	6:00 PM	29,31	21,81	21,39	18,14	39,53
18/10/2022	7:00 PM	29,19	22,63	20,48	17,03	37,52
18/10/2022	8:00 PM	29,25	23,13	20,59	19,13	39,72
18/10/2022	9:00 PM	29,49	23,50	20,33	18,16	38,48
18/10/2022	10:00 PM	29,06	23,63	20,56	18,06	38,62
18/10/2022	11:00 PM	29,38	24,13	21,92	19,13	41,05
19/10/2022	12:00 AM	22,88	19,38	15,40	15,17	30,58

Lampiran 2 Tabel harga batu bara

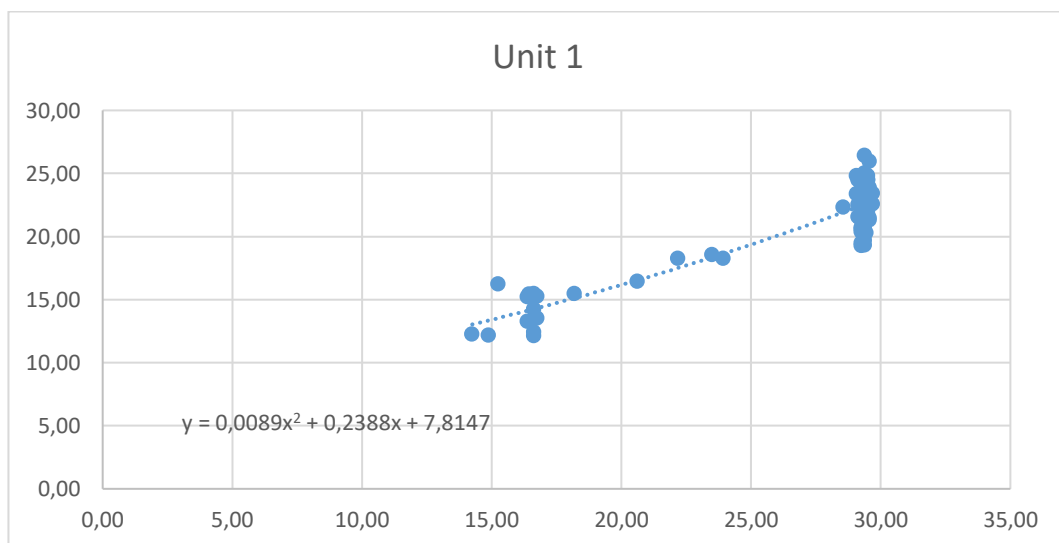
Harga Acuan - Ditjen Minerba

https://www.minerba.esdm.go.id/harga_acuan

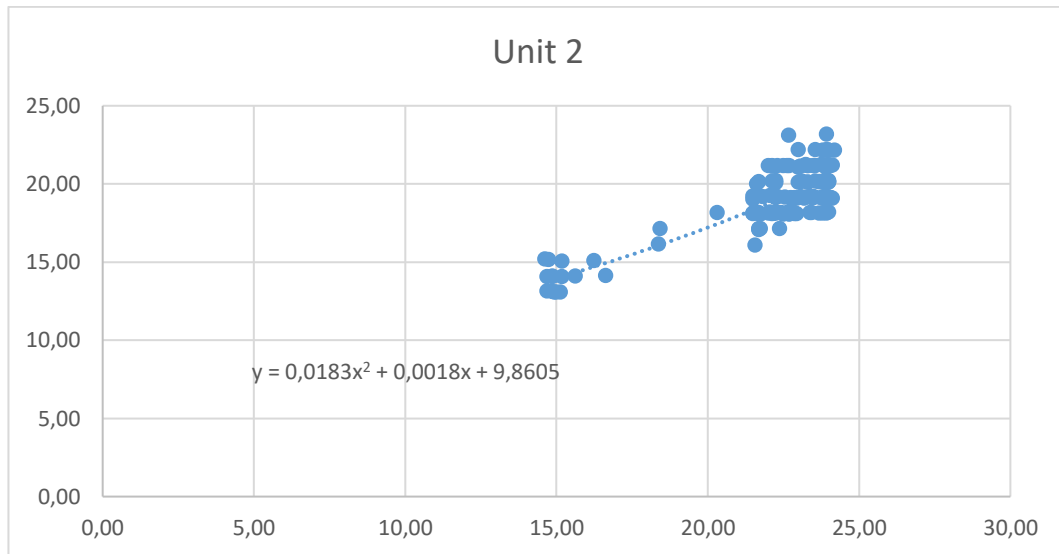
TABEL HARGA MINERAL DAN BATUBARA ACUAN

Komoditas	Oktober 2022	November 2022	Desember 2022	Januari 2023
Batubara (USD/ton)	330.97	308.2	281.48	305.21
Batubara (hba 1) (USD/ton)	-	-	-	-
Batubara (hba 2) (USD/ton)	-	-	-	-
Nikel (USD/dmt)	22081.25	22374.77	23907.73	27482.62
Kobalt (USD/dmt)	51264	51510.68	51510.45	51494.76
Timbal (USD/dmt)	1935.83	1943.09	2031	2156.9
Seng (USD/dmt)	3342.58	2994.16	2927.73	3082.81
Aluminium (USD/dmt)	2324.05	2225.5	2282.98	2393.71
Tembaga (USD/dmt)	7901.75	7608.77	7890.73	8235.57
Emas sebagai mineral ikutan (USD/ounce)	1716.37	1666.39	1690.86	1775.03
Perak sebagai mineral ikutan (USD/ounce)	18.79	19.3	20.19	22.31
Mangan (USD/dmt)	4.17	4.03	4.07	4.08
Bijih Besi Laterit/Hematit/Magnetit (USD/dmt)	1.45	1.39	1.27	1.52
Bijih Krom (USD/dmt)	3.74	3.84	4.04	3.92
Konsentrat Ilmenit (USD/dmt)	8.19	7.8	7.65	7.93
Konsentrat Titanium (USD/dmt)	15.33	14.32	14.09	14.2

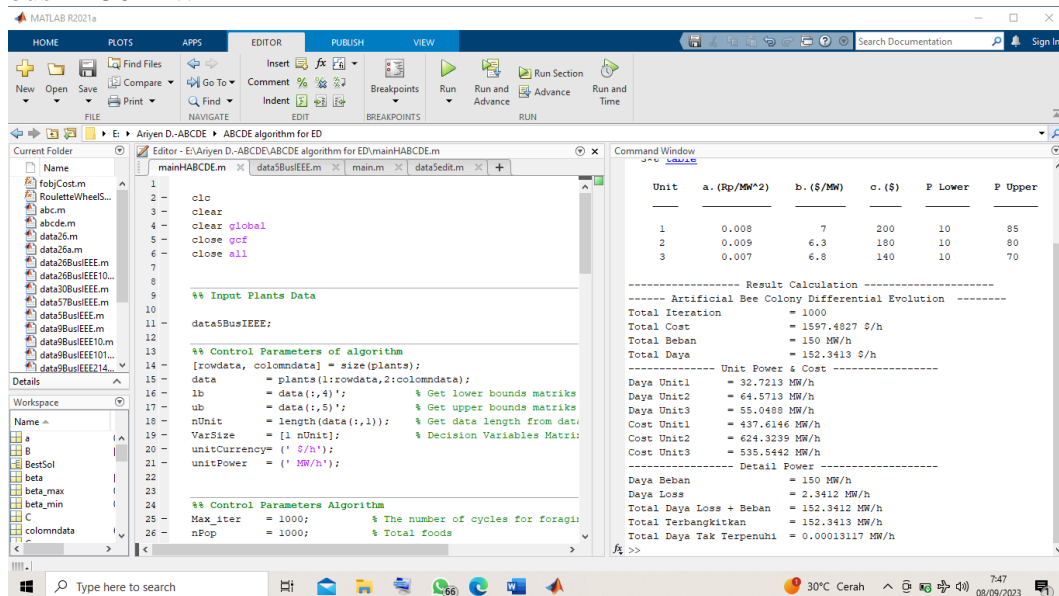
Lampiran 3 Fungsi konsumsi batu bara unit 1 menggunakan metode *least square*



Lampiran 4 Fungsi konsumsi batu bara unit 2 menggunakan metode least square



Lampiran 5 Hasil simulasi optimasi menggunakan metode HABCDE sistem 5 bus – 150 MW



Lampiran 6 Hasil simulasi optimasi menggunakan metode HABCDE sistem 26 bus – 1263 MW

```

1  clc
2  clear
3  clear global
4  close gcf
5  close all
6
7
8
9
10
11 %% Input Plants Data
12 data26BusIEEE10100;
13
14 %% Control Parameters of algorithm
15 [rowdata, colomndata] = size(plants);
16 data = plants(1:rowdata,2:colomndata);
17 lb = data(:,4)'; % Get lower bounds matrixs from data variabel
18 ub = data(:,5)'; % Get upper bounds matrixs from data variabel
19 nUnit = length(data(:,1)); % Get data length from data variabel
20 VarSize = [1 nUnit]; % Decision Variables Matrix Size
21 unitCurrency = (' $/h');
22 unitPower = (' MW/h');
23
24 %% Control Parameters Algorithm
25 Max_iter = 500; % The number of cycles for foraging (a stopping criteria)
26 nPop = 500; % Total foods

```

```

----- Result Calculation -----
----- Artificial Bee Colony Differential Evolution -----
Total Iteration = 500
Total Cost = 15442.4696 $/h
Total Beban = 1263 MW/h
Total Daya = 1275.3514 $/h
----- Unit Power & Cost -----
Daya Unit1 = 457.2836 MW/h
Daya Unit2 = 171.0031 MW/h
Daya Unit3 = 269.4108 MW/h
Daya Unit4 = 135.5727 MW/h
Daya Unit5 = 168.236 MW/h
Daya Unit6 = 73.8453 MW/h
Cost Unit1 = 4904.7427 MW/h
Cost Unit2 = 2187.8301 MW/h
Cost Unit3 = 3163.2308 MW/h
Cost Unit4 = 1856.7196 MW/h
Cost Unit5 = 2212.9046 MW/h
Cost Unit6 = 1117.0419 MW/h
----- Detail Power -----
Daya Beban = 1263 MW/h
Daya Loss = 12.3503 MW/h
Total Daya Loss + Beban = 1275.3503 MW/h
Total Terbangkitkan = 1275.3514 MW/h
Total Daya Tak Terpenuhi = 0.001043 MW/h

```

Lampiran 7 Hasil simulasi optimasi menggunakan metode HABCDE sistem 30 bus – 283,40 MW

```

1  clc
2  clear
3  clear global
4  close gcf
5  close all
6
7
8
9
10
11 %% Input Plants Data
12 data30BusIEEE;
13
14 %% Control Parameters of algorithm
15 [rowdata, colomndata] = size(plants);
16 data = plants(1:rowdata,2:colomndata);
17 lb = data(:,4)'; % Get lower bounds matrixs from data variabel
18 ub = data(:,5)'; % Get upper bounds matrixs from data variabel
19 nUnit = length(data(:,1)); % Get data length from data variabel
20 VarSize = [1 nUnit]; % Decision Variables Matrix Size
21 unitCurrency = (' $/h');
22 unitPower = (' MW/h');
23
24 %% Control Parameters Algorithm
25 Max_iter = 500; % The number of cycles for foraging (a stopping criteria)
26 nPop = 200; % Total foods

```

```

----- Result Calculation -----
----- Artificial Bee Colony Differential Evolution -----
Total Iteration = 500
Total Cost = 799.7513 $/h
Total Beban = 283.4 MW/h
Total Daya = 291.5416 $/h
----- Unit Power & Cost -----
Daya Unit1 = 173.601 MW/h
Daya Unit2 = 44.1787 MW/h
Daya Unit3 = 21.5088 MW/h
Daya Unit4 = 24.9517 MW/h
Daya Unit5 = 15.3014 MW/h
Daya Unit6 = 12 MW/h
Cost Unit1 = 460.2169 MW/h
Cost Unit2 = 111.4683 MW/h
Cost Unit3 = 50.4229 MW/h
Cost Unit4 = 86.2856 MW/h
Cost Unit5 = 51.7576 MW/h
Cost Unit6 = 39.6 MW/h
----- Detail Power -----
Daya Beban = 283.4 MW/h
Daya Loss = 8.0759 MW/h
Total Daya Loss + Beban = 291.4759 $/h
Total Terbangkitkan = 291.5416 $/h
Total Daya Tak Terpenuhi = 0.061664 MW/h

```

Lampiran 8 Hasil simulasi optimasi menggunakan metode HABCDE untuk sistem PLTU Mamuju pada hari kerja jam 01:00 am.

```

1
2
3
4
5
6
7
8
9
10
11
12
13
14
15
16
17
18
19
20
21
22
23
24
25
26

```

```

1. Algorithm Bee Colony
2. Differential Evolution
3. Hybrid Algorithm Bee Colony Differential Evolution
Select the combination you want to run right (1,2,3): 3
----- Input - Output Characteristic -----
----- Result Calculation -----
----- Algorithm Bee Colony Differential Evolution -----
Total Iteration      = 500
Total Cost           = 214021095.9031 Rp/h
Total Beban         = 51.75 MW/h
Total Daya          = 51.75 Rp/h
----- Unit Power & Cost -----
Daya Unit1          = 30 MW/h
Daya Unit2          = 21.75 MW/h
Cost Unit1          = 118426288.05 MW/h
Cost Unit2          = 9554807.8531 MW/h
----- Detail Power -----
Daya Beban          = 51.75 MW/h
Daya Loss           = 0 MW/h
Total Daya Loss + Beban = 51.75 Rp/h
Total Terbangkitkan = 51.75 Rp/h
Total Daya Tak Terpenuhi = 0 MW/h
f >>

```

Lampiran 9 Hasil simulasi optimasi menggunakan metode HABCDE untuk sistem PLTU Mamuju pada hari kerja jam 01:00 am.

```

1
2
3
4
5
6
7
8
9
10
11
12
13
14
15
16
17
18
19
20
21
22
23
24
25
26

```

```

1. Algorithm Bee Colony
2. Differential Evolution
3. Hybrid Algorithm Bee Colony Differential Evolution
Select the combination you want to run right (1,2,3): 3
----- Input - Output Characteristic -----
----- Result Calculation -----
----- Algorithm Bee Colony Differential Evolution -----
Total Iteration      = 500
Total Cost           = 213774827.8274 Rp/h
Total Beban         = 51.69 MW/h
Total Daya          = 51.69 Rp/h
----- Unit Power & Cost -----
Daya Unit1          = 30 MW/h
Daya Unit2          = 21.69 MW/h
Cost Unit1          = 118426288.05 MW/h
Cost Unit2          = 95348539.7774 MW/h
----- Detail Power -----
Daya Beban          = 51.69 MW/h
Daya Loss           = 0 MW/h
Total Daya Loss + Beban = 51.69 Rp/h
Total Terbangkitkan = 51.69 Rp/h
Total Daya Tak Terpenuhi = 0 MW/h
f >>

```

Lampiran 10 Program HABCDE

```

clc
clear
clear global
close(gcf)
close all

%% Input Plants Data

data5BusIEEE;

%% Control Parameters of algorithm
[rowdata, colomndata] = size(plants);
data      = plants(1:rowdata,2:colomndata);
lb        = data(:,4)';           % Get lower bounds matriks
from data variable
ub        = data(:,5)';           % Get upper bounds matriks
from data variable
nUnit     = length(data(:,1));    % Get data length from data
variable
VarSize   = [1 nUnit];           % Decision Variables Matrix
Size
unitCurrency= (' $/h');
unitPower  = (' MW/h');

%% Control Parameters Algorithm
Max_iter   = 1000;                % The number of cycles for foraging
{a stopping criteria}
nPop      = 1000;                % Total foods

%% Control Parameters of ABC algorithm
nOnlooker  = round(0.2*nPop);     % Number of
Onlooker Bees
L          = round(0.5*nPop);     % Abandonment Limit Parameter
(Trial Limit)
a          = 0.9;                 % Acceleration
Coefficient Upper Bound

%% Control Parameters of DE Algorithm
beta_min = 0.2;    % Lower Bound of Scaling Factor
beta_max = 0.8;    % Upper Bound of Scaling Factor
pCR      = 0.8;    % Crossover Probability

%% Running Algorithm

disp '1. Artificial Bee Colony';
disp '2. Differential Evolution';
disp '3. Hybrid Artificial Bee Colony Differential Evolution';

```

```
func = input('Select the combination you want to run right
(1,2,3): ');
disp ('-----');
```

```
if (func == 1)
    abc;
    disp('----- Input - Output Characteristic -----');
    display(array2table(plants,'V',{'Unit' 'a.(Rp/MW^2)'
'b.($/MW)' 'c.($)' 'P Lower' 'P Upper'}));
    disp('----- Result Calculation -----');
    disp('----- Artificial Bee Colony -----');
elseif (func == 2)
    de;
    disp('----- Input - Output Characteristic -----');
    display(array2table(plants,'V',{'Unit' 'a.(Rp/MW^2)'
'b.($/MW)' 'c.($)' 'P Lower' 'P Upper'}));
    disp('----- Result Calculation -----');
    disp('----- Differential Evolution -----');
else
    abcde;
    disp('----- Input - Output Characteristic -----');
    display(array2table(plants,'V',{'Unit' 'a.(Rp/MW^2)'
'b.($/MW)' 'c.($)' 'P Lower' 'P Upper'}));
    disp('----- Result Calculation -----
----');
    disp('----- Artificial Bee Colony Differential Evolution ---
-----');
end
```

```
display(['Total Iteration          = ',num2str(Max_iter)]);
display(['Total Cost              = ',num2str(BestSol.Cost)
,unitCurrency]);
display(['Total Beban             = ',num2str(Pd)
,unitPower  ]);
display(['Total Daya              =
',num2str(sum(BestSol.Position)) ,unitCurrency]);
disp('----- Unit Power & Cost -----');
for i=1:nUnit
display(['Daya Unit', num2str(i), '          =
',num2str(BestSol.Position(i)),unitPower  ]);
end
for i=1:nUnit
display(['Cost Unit', num2str(i), '          =
',num2str(BestSol.unitCost(i)),unitPower  ]);
end
disp('----- Detail Power -----');
display(['Daya Beban             = ',num2str(Pd)
,unitPower  ]);
display(['Daya Loss              = ',num2str(sum(BestSol.Loss))
,unitPower  ]);
display(['Total Daya Loss + Beban = ',num2str((Pd +
sum(BestSol.Loss))),unitPower]);
display(['Total Terbangkitkan     =
',num2str(sum(BestSol.Position)) ,unitPower]);
```