

**ANALISIS *ECONOMIC DISPATCH* PLTU TANJUNG JATI B  
DENGAN MENGGUNAKAN METODE *LAGRANGE* DAN  
METODE *PARTICLE SWARM OPTIMIZATION* (PSO)**

**Usulan Penelitian Tesis S-2**

Untuk Memenuhi Persyaratan Memperoleh Gelar Magister Teknik  
Program Magister Teknik Elektro



Disusun Oleh:  
**RAHMAD SETYA DARMAWAN**  
NIM. 20602300022

**PROGRAM MAGISTER TEKNIK ELEKTRO  
UNIVERSITAS ISLAM SULTAN AGUNG  
SEMARANG  
2025**

**HALAMAN PERSETUJUAN**

**ANALISIS *ECONOMIC DISPATCH* PLTU TANJUNG JATI B DENGAN  
MENGUNAKAN METODE *LAGRANGE* DAN METODE *PARTICLE  
SWARM OPTIMIZATION (PSO)***

Disusun Oleh:

**RAHMAD SETYA DARMAWAN  
NIM. 20602300022**

Telah disetujui oleh pembimbing dan selanjutnya  
Dapat diajukan dihadapan sidang panitia ujian tesis  
Program Studi Magister Teknik Elektro Fakultas Teknologi Industri  
Universitas Islam Sultan Agung Semarang

Semarang, 05 Juni 2025

Pembimbing

  
**Prof. Dr. Sri Arttini Dwi Prasetyowati M. Si** Tanggal 05 Juni 2025

**HALAMAN PENGESAHAN**

**TESIS**

**ANALISIS *ECONOMIC DISPATCH* PLTU TANJUNG JATI B DENGAN  
MENGUNAKAN METODE *LAGRANGE* DAN METODE *PARTICLE*  
*SWARM OPTIMIZATION* (PSO)**

yang disiapkan oleh:

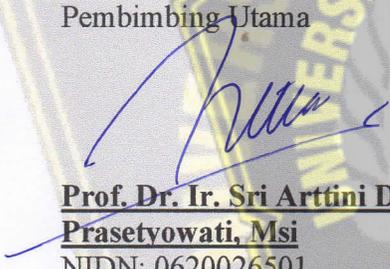
**RAHMAD SETYA DARMAWAN**  
**NIM. 20602300022**

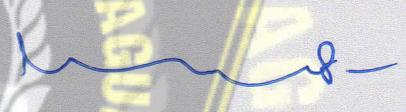
Telah dipertahankan di depan Dewan Penguji  
Pada tanggal 05 Juni 2025

**SUSUNAN DEWAN PENGUJI**

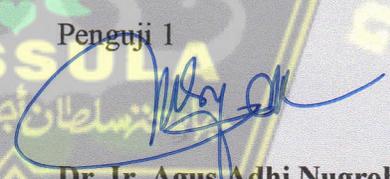
Pembimbing Utama

Ketua Penguji

  
**Prof. Dr. Ir. Sri Arttini Dwi  
Prasetyowati, Msi**  
NIDN: 0620026501

  
**Prof. Dr. Ir. Muhammad Haddin, MT**  
NIDN: 0618066301

Penguji 1

  
**Dr. Ir. Agus Adhi Nugroho, MT**  
NIDN: 0628086501

Tesis ini telah diterima sebagai salah satu persyaratan  
Untuk memperoleh gelar Magister Teknik Elektro  
Tanggal 05 Juni 2025

  
**Prof. Dr. Ir. Sri Arttini Dwi Prasetyowati, Msi**  
NIDN: 0620026501

Ketua Program Studi Magister Teknik Elektro

## PENYATAAN KEASLIAN TESIS

Saya yang bertanda tangan dibawah ini:

**Nama** : **Rahmad Setya Darmawan**

**NIM** : **20602300022**

**Program Studi** : **Magister Teknik Elektro**

**Fakultas** : **Teknologi Industri**

**Universitas** : **Universitas Islam Sultan Agung**

Menyatakan dengan sesungguhnya bahwa tesis yang berjudul “ANALISIS *ECONOMIC DISPATCH* PLTU TANJUNG JATI B DENGAN MENGGUNAKAN METODE *LAGRANGE* DAN METODE *PARTICLE SWARM OPTIMIZATION* (PSO)” merupakan karya peneliti sendiri dan tidak ada unsur plagiarisme dengan cara yang tidak sesuai etika atau tradisi kelimuan. Peneliti siap menerima sanksi apabila dikemudian hari ditemukan pelanggaran etika akademik dalam laporan penelitian ini.

Semarang, 05 Juni 2025

Yang menyatakan



Rahmad Setya Darmawan

## PERNYATAAN PERSERTUJUAN UNGGAH KARYA ILMIAH

Saya yang bertanda tangan dibawah ini:

**Nama** : **Rahmad Setya Darmawan**

**NIM** : **206002300022**

**Program Studi** : **Magister Teknik Elektro**

**Fakultas** : **Teknologi Industri**

**Universitas** : **Universitas Islam Sultan Agung**

Dengan ini menyerahkan karya ilmiah berupa Tesis dengan judul:

**ANALISIS *ECONOMIC DISPATCH* PLTU TANJUNG JATI B DENGAN  
MENGUNAKAN METODE *LAGRANGE* DAN METODE *PARTICLE  
SWARM OPTIMIZATION (PSO)***

Dan menyetujuinya menjadi hak milik Universitas Islam Sultan Agung Semarang serta memberikan Hak Bebas Royalti Non-Eksklusif untuk disimpan, dialihmediakan, dikelola dalam pangkalan data dan dipublikasikannya di internet atau media lain untuk kepentingan akademis selama tetap mencantumkan nama penulis sebagai pemilik Hak Cipta.

Pernyataan ini saya buat dengan sungguh-sungguh, apabila dikemudian hari terbukti ada pelanggaran Hak Cipta/Plagiarisme dalam karya ilmiah ini, maka segala bentuk hukum yang timbul akan saya tanggung secara pribadi tanpa melibatkan pihak Universitas Islam Sultan Agung Semarang.

Semarang, 05 Juni 2025

Yang menyatakan



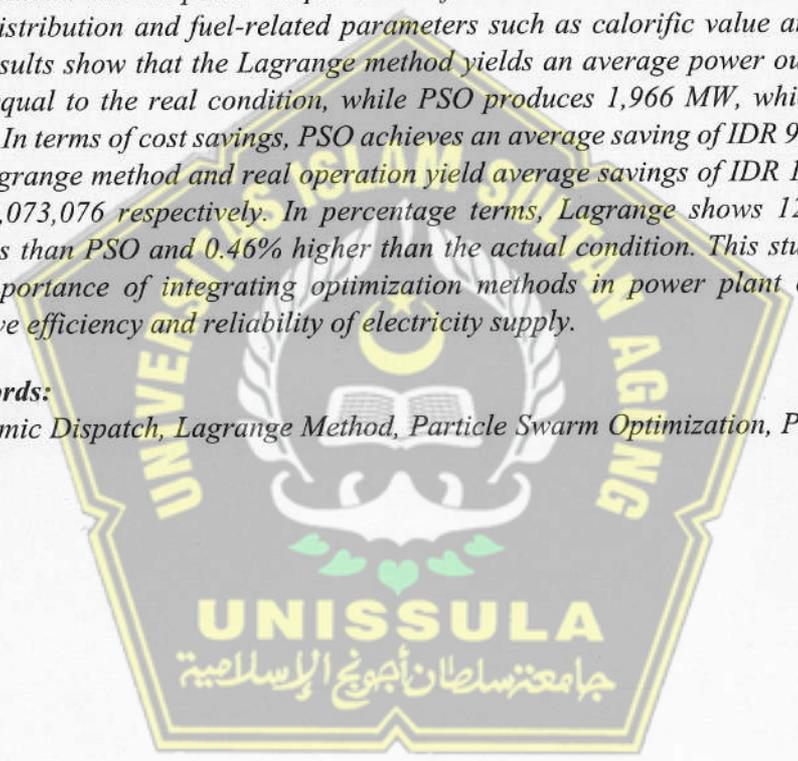
**Rahmad Setya Darmawan**

## ABSTRACT

*This study examines the application of the Lagrange method and Particle Swarm Optimization (PSO) in solving the Economic Dispatch problem at the Tanjung Jati B Steam Power Plant (PLTU). The main objective is to compare the effectiveness of both methods in optimizing load distribution among generation units and to evaluate potential operational cost savings compared to actual operating conditions. The optimization model minimizes a quadratic generation cost function, subject to system load demand and the power output limits of each unit. Simulation data includes daily load distribution and fuel-related parameters such as calorific value and fuel price. The results show that the Lagrange method yields an average power output of 2,367 MW, equal to the real condition, while PSO produces 1,966 MW, which is 16.94% lower. In terms of cost savings, PSO achieves an average saving of IDR 938,501, while the Lagrange method and real operation yield average savings of IDR 1,078,064 and IDR 1,073,076 respectively. In percentage terms, Lagrange shows 12.95% higher savings than PSO and 0.46% higher than the actual condition. This study highlights the importance of integrating optimization methods in power plant operations to improve efficiency and reliability of electricity supply.*

**Keywords:**

*Economic Dispatch, Lagrange Method, Particle Swarm Optimization, PLTU Tanjung Jati B*

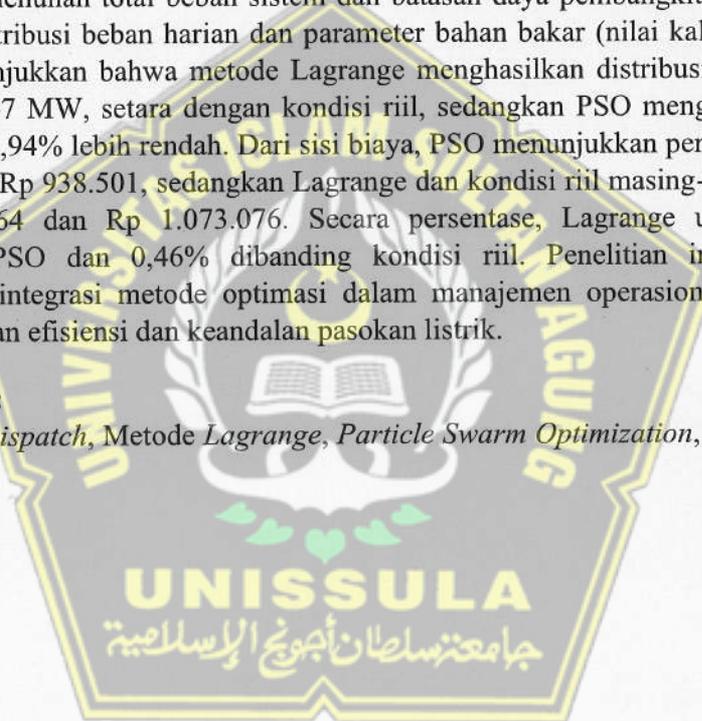


## ABSTRAK

Penelitian ini mengkaji penerapan metode Lagrange dan Particle Swarm Optimization (PSO) dalam menyelesaikan permasalahan Economic Dispatch pada Pembangkit Listrik Tenaga Uap (PLTU) Tanjung Jati B. Tujuan utamanya adalah membandingkan efektivitas kedua metode dalam mengoptimalkan distribusi beban antar unit pembangkit dan mengevaluasi potensi penghematan biaya operasional dibandingkan dengan kondisi operasional riil. Model optimasi yang digunakan adalah mempertimbangkan fungsi biaya total pembangkitan yang bersifat kuadratik, dengan kendala pemenuhan total beban sistem dan batasan daya pembangkit. Data simulasi meliputi distribusi beban harian dan parameter bahan bakar (nilai kalori dan harga). Hasil menunjukkan bahwa metode Lagrange menghasilkan distribusi daya rata-rata sebesar 2.367 MW, setara dengan kondisi riil, sedangkan PSO menghasilkan 1.966 MW atau 16,94% lebih rendah. Dari sisi biaya, PSO menunjukkan penghematan rata-rata sebesar Rp 938.501, sedangkan Lagrange dan kondisi riil masing-masing sebesar Rp 1.078.064 dan Rp 1.073.076. Secara persentase, Lagrange unggul 12,95% dibanding PSO dan 0,46% dibanding kondisi riil. Penelitian ini menegaskan pentingnya integrasi metode optimasi dalam manajemen operasional PLTU guna meningkatkan efisiensi dan keandalan pasokan listrik.

**Kata kunci:**

*Economic Dispatch, Metode Lagrange, Particle Swarm Optimization, PLTU Tanjung Jati B*



## KATA PENGANTAR

Alhamdulillah, segala Puji dan Syukur Penulis panjatkan kepada Allah SWT karena berkat rahmat dan karunia-Nya Penulis dapat menyelesaikan Tesis ini dengan judul “**ANALISIS *ECONOMIC DISPATCH* PLTU TANJUNG JATI B DENGAN MENGGUNAKAN METODE *LAGRANGE* DAN METODE *PARTICLE SWARM OPTIMIZATION (PSO)*”**. Penulisan Tesis ini bertujuan untuk memenuhi syarat dalam menyelesaikan Program Studi Magister Teknik Elektro Univeristas Islam Sultan Agung Semarang. Pada kesempatan ini Penulis mengucapkan terima kasih kepada:

1. Univeristas Islam Sultan Agung Semarang yang telah memberikan kesempatan untuk menempuh pendidikan di Program Studi Magister Teknik Elektro.
2. Ibu Prof. Dr. Sri Arttini Dwi Prasetyowati M. Si selaku Ketua Program Studi Magister Teknik Elektro.
3. Ibu Prof. Dr. Sri Arttini Dwi Prasetyowati M. Si selaku Dosen Pembimbing yang telah memberikan bimbingan dan arahan sehingga Penulis dapat menyelesaikan penulisan Tesis ini.
4. Seluruh Bapak dan Ibu Dosen di Program Studi Magister Teknik Elektro Univeristas Islam Sultan Agung Semarang yang telah memberikan berbagai ilmu pengetahuan yang baru kepada Penulis.
5. Kedua orang tua, istri dan anak-anak yang telah mendoakan dan memotivasi Penulis sehingga dapat menyelesaikan Program Studi Magister Teknik Elektro ini.
6. Teman-Teman mahasiswa Magister Teknik Elektro kelas RPL Angkatan 2023-2024 yang telah membantu memberikan masukan dan saran guna menyempurnakan penulisan Tesis ini
7. Seluruh pihak yang tidak dapat disebutkan satu persatu yang telah membantu Penulis dalam penyelesaian Tesis ini.

Penulis menyadari bahwa Tesis ini masih belum sempurna, oleh karena itu mengharapkan masukan dan saran untuk perbaikan Tesis ini. Semoga Tesis ini dapat memberikan manfaat bagi Penulis sendiri maupun yang membaca.

Rahmad Setya Darmawan

## DAFTAR ISI

HALAMAN SAMPUL .....	i
HALAMAN PERSETUJUAN.....	ii
HALAMAN PENGESAHAN.....	iii
PENYATAAN KEASLIAN TESIS.....	iv
PERNYATAAN PERSERTUJUAN UNGGAH KARYA ILMIAH .....	v
<i>ABSTRACT</i> .....	vi
ABSTRAK .....	vii
KATA PENGANTAR .....	viii
DAFTAR ISI.....	ix
DAFTAR GAMBAR.....	xi
DAFTAR TABEL.....	xii
DAFTAR LAMPIRAN.....	xiii
BAB I PENDAHULUAN.....	1
1.1 Latar Belakang Masalah.....	1
1.2 Rumusan Masalah .....	3
1.3 Batasan Masalah.....	3
1.4 Tujuan Penelitian.....	4
1.5 Keaslian Penelitian.....	4
BAB II TINJAUAN PUSTAKA DAN LANDASAN TEORI .....	6
2.1 Tinjauan Pustaka .....	6
2.2 Landasan Teori .....	8
2.2.1 Sistem Tenaga Listrik .....	8
2.2.2 Sistem Pembangkitan.....	10
2.2.3 Transmisi Tenaga Listrik .....	10
2.2.4 Saluran Distribusi.....	19
2.2.5 <i>Economic Dispatch</i> .....	13

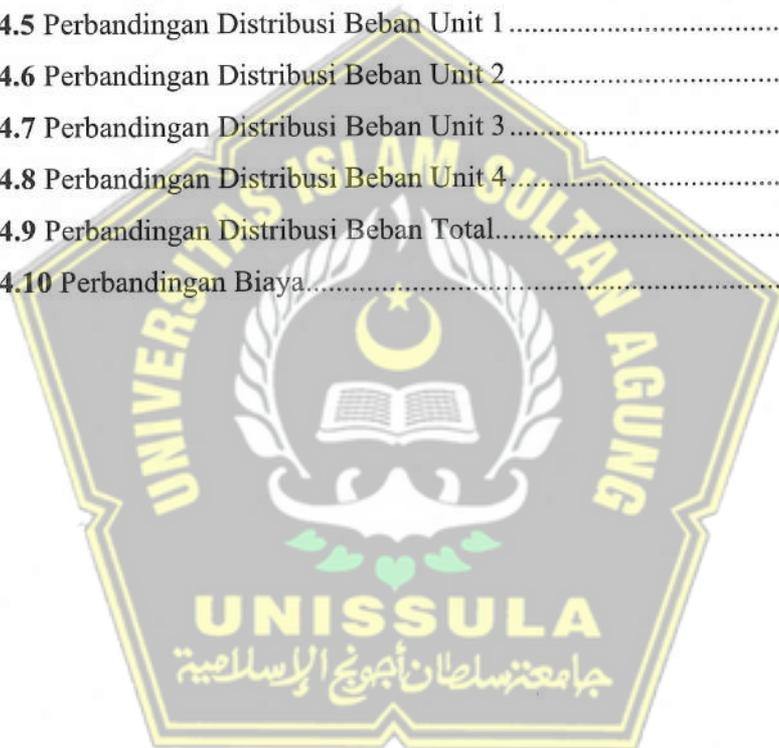
2.2.6	Unit Pembangkit Termal .....	17
2.2.7	Karakteristik Unit Pembangkit Termis .....	19
2.2.8	Metode Lagrange .....	21
2.2.9	Particle Swarm Optimization (PSO) .....	23
<b>BAB III METODOLOGI PENELITIAN .....</b>		<b>27</b>
3.1	Model Penelitian .....	27
	3.1.1 Metode Lagrange .....	27
	3.1.2 Particle Swarm Optimization (PSO) .....	28
3.2	Bahan Penelitian .....	30
	3.2.1 Data Operasional Pembangkit .....	30
3.3	Alat yang Digunakan .....	31
3.4	Langkah-langkah Penelitian .....	33
<b>BAB IV HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN .....</b>		<b>37</b>
4.1	Hasil Simulasi Economic Dispatch (ED) .....	37
	4.1.1 Implementasi Metode Lagrange .....	40
	4.1.2 Implementasi Metode Particle Swarm Optimization (PSO) .....	44
4.2	Analisis Perbandingan Hasil .....	49
	4.2.1. Perbandingan Distribusi Optimal Beban .....	49
	4.2.2. Perbandingan Biaya Operasional .....	61
4.3	Pembahasan .....	66
	4.3.1. Analisis Penerapan Metode Lagrange .....	66
	4.3.2. Analisis Penerapan Metode Particle Swarm Optimization .....	68
	4.3.3. Dampak terhadap Operasional PLTU Tanjung Jati B .....	69
<b>BAB V KESIMPULAN .....</b>		<b>72</b>
5.1	Kesimpulan .....	72
5.2	Implikasi dan Rekomendasi .....	73
<b>DAFTAR PUSTAKA .....</b>		<b>75</b>
<b>LAMPIRAN .....</b>		<b>78</b>

## DAFTAR GAMBAR

<b>Gambar 2.1</b> Sistem Tenaga Listrik .....	9
<b>Gambar 2.2</b> PLTU Tanjung Jati B .....	10
<b>Gambar 2.3</b> Saluran Transmisi .....	12
<b>Gambar 2.4</b> Saluran Distribusi .....	13
<b>Gambar 2.5</b> Skema kerja PLTU .....	18
<b>Gambar 2.6</b> (a) Kurva Input-Output, (b) Kurva Biaya Bahan Bakar .....	19
<b>Gambar 2.7</b> Kurva Biaya Operasi terhadap daya keluaran Pembangkit .....	20
<b>Gambar 2.8</b> Konsep Interaksi Lambda .....	22
<b>Gambar 2.9</b> Flowchart Metode Lagrange .....	22
<b>Gambar 2.10</b> Ilustrasi pencarian $P_{best}$ dan $G_{best}$ .....	22
<b>Gambar 2.11</b> Flowchart Metode Particle Swarm Optimization .....	24
<b>Gambar 3.1</b> Flowchart Penelitian .....	33
<b>Gambar 4.1</b> Pengolahan Data untuk menentukan fungsi biaya Unit 1&2 .....	45
<b>Gambar 4.2</b> Pengolahan Data untuk menentukan fungsi biaya Unit 3&4 .....	41
<b>Gambar 4.3</b> Inisialisasi Parameter PSO pada program python .....	46
<b>Gambar 4.4</b> Inisialisasi Partikel PSO pada program python .....	46
<b>Gambar 4.5</b> Inisialisasi kecepatan dan posisi partikel pada program python .....	47
<b>Gambar 4.6</b> Inisialisasi posisi terbaik pada program python .....	51
<b>Gambar 4.7</b> Proses Iterasi pada program python .....	52
<b>Gambar 4.8</b> Grafik Perbandingan Distribusi beban Unit 1 .....	55
<b>Gambar 4.9</b> Grafik Perbandingan Distribusi beban Unit 2 .....	58
<b>Gambar 4.10</b> Grafik Perbandingan Distribusi beban Unit 3 .....	60
<b>Gambar 4.11</b> Grafik Perbandingan Distribusi beban Unit 4 .....	62
<b>Gambar 4.12</b> Grafik Perbandingan Distribusi beban total .....	60
<b>Gambar 4.13</b> Grafik Perbandingan Biaya .....	63

## DAFTAR TABEL

<b>Tabel 3.1</b> Data Pembangkit .....	37
<b>Tabel 4.1</b> Karakteristik dan Fungsi Biaya masing-masing unit .....	37
<b>Tabel 4.2</b> Data riil Beban PLTU Tanjung Jati B Periode 1 Desember 2023.....	39
<b>Tabel 4.3</b> Hasil Optimasi Beban dan Biaya Total Metode Lagrange.....	43
<b>Tabel 4.4</b> Hasil Optimasi Beban dan Biaya Total Metode PSO.....	48
<b>Tabel 4.5</b> Perbandingan Distribusi Beban Unit 1 .....	50
<b>Tabel 4.6</b> Perbandingan Distribusi Beban Unit 2 .....	52
<b>Tabel 4.7</b> Perbandingan Distribusi Beban Unit 3 .....	57
<b>Tabel 4.8</b> Perbandingan Distribusi Beban Unit 4.....	59
<b>Tabel 4.9</b> Perbandingan Distribusi Beban Total.....	59
<b>Tabel 4.10</b> Perbandingan Biaya.....	65



## DAFTAR LAMPIRAN

<b>Lampiran 1</b> Program Metode <i>Lagrange Python</i> .....	78
<b>Lampiran 2</b> Program Metode <i>Particle Swarm Optimization Python</i> .....	81
<b>Lampiran 3</b> <i>Curriculum Vitae</i> .....	84



# BAB I

## PENDAHULUAN

### 1.1 Latar Belakang Masalah

Energi listrik merupakan salah satu faktor penunjang yang sangat penting bagi perkembangan suatu negara. Di Indonesia, setiap tahunnya semakin meningkat kegiatan industri dan jumlah penduduknya, sehubungan dengan hal tersebut kebutuhan energi listriknya pun juga mengalami peningkatan [1]. Untuk mendukung hal tersebut, sudah banyak Pembangkit listrik yang beroperasi sebagai penyedia listrik di Indonesia. Pembangkit Listrik di Indonesia umumnya merupakan pembangkit listrik termal seperti PLTU, PLTG, PLTGU, PLTD. Pembangkit Listrik termal menggunakan energi panas dalam pengoperasiannya untuk membangkitkan energi Listrik. Energi panas ini biasanya dalam bentuk fosil. Saat ini jumlah ketersediaan bahan bakar fosil ini semakin langka, hal ini akan berdampak kepada semakin tingginya harga bahan bakar tersebut. Harga bahan bakar yang tinggi tentunya akan berdampak ke biaya produksi energi Listrik yang meningkat juga [2]. Permasalahan utama yang dihadapi dalam pengoperasian pembangkit listrik termal adalah tingginya biaya operasional, khususnya yang disebabkan oleh konsumsi bahan bakar. Berdasarkan data realisasi operasional PLTU Tanjung Jati B tahun 2023, biaya bahan bakar mencapai sekitar 60% dari total biaya operasi pembangkitan, yakni sebesar Rp 8,88 triliun dari total Rp 14,80 triliun [3]. Penyebab dari tingginya biaya ini adalah meningkatnya permintaan daya (beban), yang secara langsung mendorong peningkatan konsumsi bahan bakar. Semakin besar daya yang harus dibangkitkan, semakin besar pula jumlah bahan bakar yang dibutuhkan, sehingga biaya operasional akan semakin tinggi [4]. Hal ini juga dikarenakan PLTU Tanjung Jati B juga merupakan PLTU yang menjadi backbone sistem kelistrikan jawa bali yang menyumbang kelistrikan sekitar 9-10% ditiap tahunnya, sehingga PLTU Tanjung Jati B di tuntun handal dalam beroperasi

Akibatnya, jika biaya bahan bakar tidak dikendalikan, maka efisiensi pembangkitan akan menurun dan beban biaya akan berdampak pada tarif listrik atau subsidi pemerintah. Selain itu, pengoperasian pembangkit tidak akan optimal dan dapat menurunkan keandalan sistem kelistrikan nasional, khususnya pada sistem beban dasar.

Seperti penjelasan diatas bahwa pada pengoperasian pembangkit listrik pemakaian bahan bakar menjadi salah satu hal yang perlu mendapatkan perhatian khusus karena sekitar 60-70% dari total biaya operasi yang dikeluarkan merupakan biaya bahan bakar.

Untuk menjawab tantangan tersebut, solusi yang sedang menjadi tren (trend solution) adalah penerapan metode optimasi biaya operasi pembangkit, yang dikenal dengan Economic Dispatch. Economic Dispatch bertujuan untuk mendistribusikan beban antar unit pembangkit secara ekonomis, sehingga total biaya bahan bakar dapat diminimalkan. Solusi dari masalah *Economic Dispatch* dengan menggunakan berbagai metode baik secara deterministik maupun undeterministik telah menjadi perhatian para peneliti sejak lama. Pendekatan deterministik berdasarkan cabang ilmu matematika teknik sedangkan pendekatan undeterministik bersifat heuristik menggunakan teknik probabilitas. Contoh Solusi deterministik dalam masalah *Economic Dispatch* menggunakan metode *Lagrange*, *Iterasi Lambda* dan *Base Point*, sedangkan pendekatan undeterministik masalah *Economic Dispatch* misalnya menggunakan metode *Particle Swarm Optimization* (PSO), *Hybrid Chaotic Particle Swarm Optimizer*, *Genetic Algorithm* (GA), *Ant Colony Optimization* dan metode *Taguchi* [5].

Penggunaan metode *Lagrange* dalam pendekatan *deterministik* didasarkan pada keunggulannya dalam menyelesaikan masalah optimasi dengan kendala secara matematis, yang memungkinkan penyelesaian yang lebih tepat dan terstruktur [4]. Sementara itu, metode *Particle Swarm Optimization* (PSO) sebagai pendekatan *non-deterministik* menawarkan keunggulan dalam mencari solusi optimal melalui simulasi perilaku sosial kawanan, yang mampu menangani masalah optimasi yang kompleks dan *non-linier* dengan lebih fleksibel dan cepat.

Dari uraian di atas, maka perlu dilakukan penelitian untuk mengetahui biaya operasi yang optimal dan efisien dengan membandingkan dua metode antara pendekatan deterministik menggunakan metode *Lagrange* dan pendekatan *non-deterministik* menggunakan metode *Particle Swarm Optimization*. Penelitian ini diharapkan dapat memberikan solusi yang lebih baik dalam mengoptimalkan biaya operasi pembangkit listrik PLTU Tanjung Jati B, sehingga dapat memberikan kontribusi yang signifikan terhadap efisiensi energi dan penghematan biaya operasional.

### 1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang yang penulis jelaskan maka didapatkan rumusan masalah sebagai berikut:

1. Bagaimana penggunaan metode *Lagrange* dan metode *Particle Swarm Optimization* dalam penerapan *Economic Dispatch* pada PLTU Tanjung Jati B?
2. Berapa nilai perbandingan penghematan biaya operasional pembangkit PLTU Tanjung Jati B setelah dianalisa menggunakan metode *Lagrange* dan metode *Particle Swarm Optimization* jika dibandingkan dengan kondisi operasional yang riil?

### 1.3 Batasan Masalah

Dari permasalahan yang harus diselesaikan diatas perlu adanya pembatasan masalah serta ruang lingkupnya agar dalam menyelesaikan rancangan nantinya tidak melebar dan mempermudah dalam menganalisa, Adapun batasan masalah tersebut yaitu:

1. Data yang digunakan adalah data sekunder PLTU Tanjung Jati B Unit 1-2 dan Unit 3-4 berupa data bahan bakar berupa nilai kalori, data konsumsi Batubara, harga Batubara, data kapasitas pembangkit, dan data heat rate pembangkit pada Desember Tahun 2023
2. Lokasi pengambilan data di PLTU Tanjung Jati B Unit 1-2 dan Unit 3-4

3. Perhitungan penelitian dilakukan menggunakan metode *Lagrange* dan metode *Particle Swarm Optimization*
4. Tidak membahas biaya rugi-rugi dan penyebab terjadinya rugi-rugi secara mendetail

#### 1.4 Tujuan Penelitian

Adapun tujuan yang ingin dicapai dalam penulisan tesis ini adalah:

1. Mengaplikasikan metode *Lagrange* dan metode *Particle Swarm Optimization* dalam penerapan *Economic Dispatch* pada PLTU Tanjung Jati B
2. Mendapatkan perbandingan nilai penghematan biaya operasional pembangkit pada PLTU Tanjung Jati B setelah dianalisis dengan menggunakan metode *Lagrange* dan metode *Particle Swarm Optimization* jika dibandingkan dengan biaya operasional yang riil.

#### 1.5 Keaslian Penelitian

Berdasarkan penelusuran judul penelitian, beberapa referensi yang relevan di antaranya adalah:

- A. Optimasi *Economic Dispatch* pada Unit Pembangkit PLTU Tanjung Jati B Menggunakan Metode *Sine Cosine Algorithm*, dimana metode ini merupakan metode *metaheuristik* yang mengadaptasi rumus sinus cosinus yang dimodifikasi dengan tujuan untuk mencari solusi optimal. Algoritma ini digunakan untuk mencari solusi optimal dari suatu permasalahan, baik itu dalam domain *continuous* maupun *discrete*. SCA terinspirasi dari fungsi trigonometri sine dan cosine untuk mengarahkan agen (solusi kandidat) menuju solusi optimal dengan cara eksplorasi dan eksploitasi ruang pencarian. Adapun hasilnya adalah Pada perbandingan pengoperasian variasi 2 generator aktif menggunakan Metode SCA ketika kombinasi STG 3 dan STG 4 aktif menunjukkan biaya bahan bakar paling ekonomis sedangkan kombinasi paling mahal adalah ketika kombinasi STG 1 dan STG 2. Hal ini menunjukkan bahwa

metode SCA merupakan metode yang dapat digunakan untuk permasalahan penjadwalan ekonomis yang optimal pada unit pembangkit PLTU Tanjung Jati B [6].

- B. Analisis Perbandingan *Economic Dispatch* Pembangkit Menggunakan Metode *Lagrange* dan CFPSO. Pada penelitian ini akan dibandingkan aplikasi dari metode *Lagrange* dan *Constriction Factor Particle Swarm Optimization* (CFPSO) untuk mendapatkan biaya pembangkitan yang minimum, menggunakan data sistem kelistrikan 500 kV Jawa Timur. Metode *Lagrange* merupakan salah satu metode deterministik sedangkan metode *Constriction Factor Particle Swarm Optimization* (CFPSO) adalah metode undeterministik yang dimodifikasi dari metode *Particle Swarm Optimization* (PSO) standar [10]. Perbandingan metode *Lagrange* dan CFPSO untuk menghitung *Economic Dispatch* dilakukan dengan menggunakan batasan *equality* dan *inequality*. Batasan *equality* mencerminkan suatu keseimbangan antara total daya yang dibangkitkan dengan total daya beban pada sistem. Batasan *inequality* mencerminkan batas minimum dan maksimum pembangkitan yang harus dipenuhi sehingga diperoleh total biaya bahan bakar yang optimum. Adapun hasil yang didapat dengan membandingkan kedua metode tersebut adalah penerapan metode CFPSO menghasilkan biaya pembangkitan yang 0,03% lebih kecil jika dibandingkan dengan menggunakan metode *Lagrange* [7].

Yang membedakan penelitian ini adalah model penelitian yang dilakukan di PLTU Tanjung Jati B dengan kapasitas 660 MW, serta metode yang digunakan adalah metode *Lagrange* dan metode *Particle Swarm Optimization* untuk mengetahui perbandingan efisiensi biaya operasional pembangkitan dibandingkan dengan biaya operasional pembangkitan secara riil.

## BAB II

### TINJAUAN PUSTAKA DAN LANDASAN TEORI

#### 2.1 Tinjauan Pustaka

Penelitian terdahulu merupakan referensi untuk mengembangkan penelitian ini. Salah satu literatur yang mudah untuk ditemui mengenai topik yang diangkat pada penelitian ini berupa artikel dari jurnal penelitian antara lain:

Jurnal pertama ditulis oleh Fajar Sihombing, Karnoto dan Bambang Winardi (2016) meneliti tentang analisis konsumsi bahan bakar pada Pembangkit Listrik Tenaga Uap pada studi kasus di PLTU Tanjung Jati B. Penelitian ini berfokus kepada tingginya jam operasi pembangkit maka sebanding dengan bahan bakar yang digunakan semakin banyak. Bahan bakar yang digunakan dalam penelitian ini adalah Bahan Bakar Minyak (BBM). Penelitian ini dilakukan dengan cara menghitung biaya penghematan bahan bakar HSD dan MFO terhadap bahan bakar LNG dan Batubara dengan menggunakan metode perhitungan terhadap biaya bahan bakar dan perhitungan terhadap konsumsi spesifik bahan bakar, *heatrate* dan efisiensi termal [1].

Jurnal kedua ditulis oleh A.S Murti (2020) meneliti tentang Optimasi Unit PLTU Berbahan Bakar Batubara di PLTU Suralaya dengan menggunakan Metode *Lagrange*. Dimana tujuan dari penelitian ini adalah mendapatkan biaya pembangkitan paling minimum pada suatu kondisi pembebanan tertentu pada sistem tenaga listrik yang mana data yang digunakan hanya data di tanggal 14 Mei 2018 pada pukul 07:00 WIB. Hasil akhir menunjukkan bahwa, dengan total pembangkitan sebesar 2644 MW, biaya yang harus dikeluarkan sebesar Rp1.180.776.616,22 sedangkan dengan metode *Lagrange* yang digunakan untuk mengoptimasi pembangkit, didapatkan biaya pembangkitan Rp1.160.220.968,97. Besar penghematan yang bisa dilakukan selama satu jam yaitu jam 07.00 Wib yaitu sebesar Rp 20.555.647,26. Dari studi yang telah dilakukan dapat disimpulkan bahwa metode *Lagrange* mampu menghasilkan biaya pembangkitan minimum yang cukup baik dibandingkan dengan biaya pembangkitan riil. [4].

Jurnal ketiga ditulis oleh H. Suroso dan P. Perdana meneliti tentang Pembebanan Ekonomis pada Pembangkit Listrik Tenaga Gas dan Uap PT Petrokimia Gresik dengan menggunakan metode *Lagrange Multiplier*. Penelitian ini memaparkan pembagian beban pada setiap pembangkit yang berada di PT. Petrokimia Gresik, untuk mencapai kondisi operasi yang optimal dan ekonomis. Untuk itu disimulasikan perhitungannya dengan menggunakan metode *Lagrange Multiplier* yang Iterasinya disesuaikan dengan Metode *Newton-Rapshon*. Hasil simulais menunjukkan bahwa perhitungan pembebanan ekonomis sangat membantu dalam menyelesaikan efisiensi dalam proses pengoperasian pembangkit [6].

Penelitian keempat ditulis oleh Muhammad Rahmatullah Al-Qaedi (2018) meneliti tentang penggunaan metode *Firefly Alogarithm* pada *Economic dispatach* sistem 500 kV Jawa-Bali dengan membuat pembagian pembangkit dan mencari kombinasi terbaik dalam proses evaluasi metode *Firefly Alogarithm*. Pada penelitian yang dilakukan ini proses evaluasi dilakukan sebanyak 50 iterasi untuk jaringan bus 30 dan 500 iterasi untuk jaringan jawa bali 500 kV dimana dari beban harian yang didapatkan dengan menggunakan metode *Firefly Alogarithm* lebih efisien jika dibandingkan dengan metode *Lagrange* dan dengan menggunakan metode *Firefly Alogarithm* dapat memperkecil biaya pembangkitan sehingga metode ini cukup optimal untuk mengoptimalkan biaya pembangkitan [2].

Jurnal kelima ditulis oleh Asmar Yassir dan Teuku Hasanuddin (2014) tentang pembuatan aplikasi untuk *Economic Dispatch* stasiun pembangkit tenaga listrik yang menggunakan visual basic 6.0. Dimana tujuan pembuatan aplikasi ini untuk memudahkan operasional setiap pembangkit dengan mendapatkan daya setiap pembangkit pada keadaan beban tertentu. Efektifitas simulasi aplikasi ini diuji pada kasus sistem IEEE 26 bus [8].

Jurnal keenam ditulis oleh I.G.N Ayrthon Senapati, Ida Bagus Gede Manuaba, Rukmi Sari Hartati (2020) yang meneliti tentang optimasi *Economic Dispatch* menggunakan metode baru yaitu metode *Imperialist Competitive Alogarithm* (ICA) yang dimana dalam penelitiannya metode ICA akan dibandingkan dengan metode

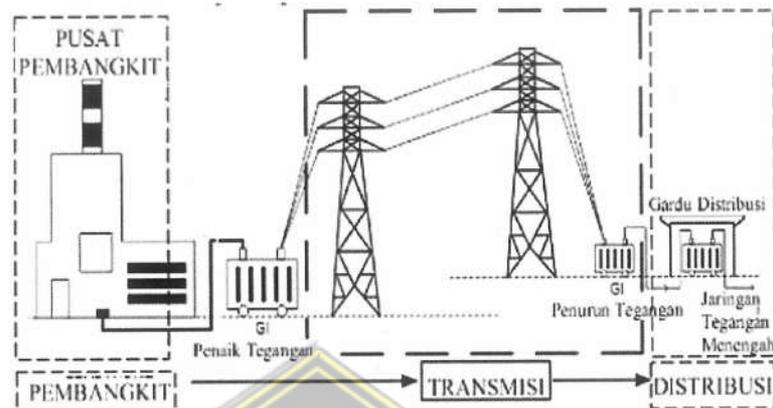
*Iterasi Lambda* dan metode *Particle Swarm Optimization* (PSO). Hasil simulasi menunjukkan metode ICA mampu memberikan Solusi lebih baik dalam menyelesaikan masalah *Economic Dispatch* pada sistem kelistrikan 150 kV Bali. Dimana selisih biaya pembangkitan antara metode *Imperialist Competitive Algorithm* (ICA) dengan metode *Particle Swarm Optimization* (PSO) sebesar 1685.19 \$/h atau penghematan dilakukan sebesar 0,24 %. Sedangkan selisih biaya pembangkitan antara metode *Imperialist Competitive Algorithm* (ICA) dengan metode *Iterasi Lambda* sebesar 7116.45 \$/h atau penghematan dilakukan sebesar 1,03 % [9].

Jurnal ketujuh ditulis oleh Daya Juang Mahaputra, Rony Seto Wibowo dan Ardyono Priyadi (2017) yang meneliti tentang optimasi *Economic Dispatch* dengan menggunakan metode *Cuckoo Search Alogarithm* yang dimana struktur dari algoritma ini terdiri dari dua operasi utama yaitu pencarian langsung yang didasari *levy flight* dan pencarian acak yang didasari oleh probabilitas induk burung lain menemukan telur asing di sarangnya. Dengan kombinasi dari dua operasi, algoritma cuckoo search menjadi metode pencarian yang lebih baik dibandingkan metode meta-heuristik lainnya. Hasil dari penggunaan Algoritma CSA dapat digunakan untuk melakukan *Economic* maupun *emission dispatch* [10].

## 2.2 Landasan Teori

### 2.2.1 Sistem Tenaga Listrik

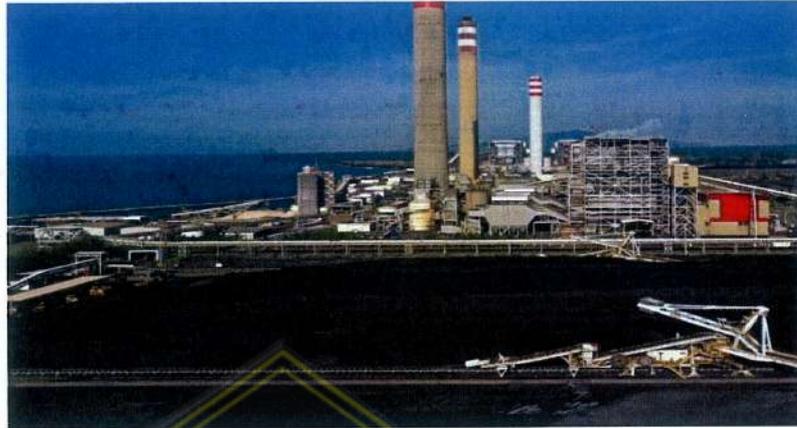
Seiring bertambahnya populasi manusia dari tahun ke tahun, maka kebutuhan energi listrik akan terus meningkat. Hal tersebut berdampak kepada persaingan antara perusahaan pembangkit listrik di pasar energi listrik semakin meningkat. Dimana untuk memenuhi kebutuhan energi listrik yang semakin besar diperlukan sistem tenaga listrik yang modern yang memiliki efisiensi yang tinggi. Sistem tenaga listrik yang baik adalah sistem tenaga listrik yang memiliki keandalan yang tinggi, ekonomis dan aman dalam operasinya. Keandalan yang tinggi dapat ditunjukkan oleh kemampuan dari sistem tersebut apakah mampu menghasilkan dan menyalurkan energi listrik kepada konsumen secara terus menerus [11].



Gambar 2. 1 Sistem Tenaga Listrik [12]

### 2.2.2 Sistem Pembangkitan

Pusat pembangkit listrik merupakan fasilitas di mana energi listrik dihasilkan atau dibangkitkan dimana terdapat turbin sebagai penggerak awal (*Prime Mover*) dan diteruskan ke generator yang membangkitkan listrik dengan mengubah tenaga turbin menjadi tenaga listrik. Pusat-pusat pembangkit listrik memiliki peran krusial dalam menyediakan pasokan listrik untuk memenuhi kebutuhan konsumen dan industri. Secara umum, jenis pusat pembangkit dibagi kedalam dua bagian yaitu pembangkit non termal yaitu PLTA (Pembangkit Listrik Tenaga Air), PLTA/B (Pembangkit Listrik Tenaga Angin/Bayu, PLTS (Pembangkit Listrik Tenaga Surya) dan pembangkit termal diantaranya yaitu PLTU (Pembangkit Listrik Tenaga Uap), PLTG (Pembangkit Listrik Tenaga Gas), PLTN (Pembangkit Listrik Tenaga Nuklir) dan PLTGU (Pembangkit Listrik Tenaga Gas Uap) [13]. Selanjutnya listrik yang dihasilkan oleh pembangkit listrik tersebut disalurkan kepada pelanggan dengan menggunakan jaringan transmisi dan distribusi listrik.



**Gambar 2.2** PLTU Tanjung Jati B  
(Sumber: Dokumen Pribadi)

### 2.2.3 Transmisi Tenaga Listrik

Merupakan bagian dari sistem tenaga listrik yang berupa sejumlah konduktor yang dipasang membentang sepanjang jarak antara pusat pembangkit sampai pusat beban yang mana transmisi tenaga listrik ini sendiri memiliki fungsi untuk mengirimkan energi listrik dari pembangkitan sampai penerima beban [13]. Selama seluruh proses ini, perhatian besar diberikan untuk mengoptimalkan efisiensi dan mengurangi kerugian energi dalam bentuk panas selama transmisi. Sistem transmisi tenaga listrik umumnya merupakan bagian integral dari infrastruktur energi suatu negara dan memainkan peran penting dalam menyediakan listrik yang andal dan terjangkau kepada masyarakat.

Adapun macam-macam dari saluran transmisi itu sendiri adalah:

#### 1. Saluran Udara

Kawat atau konduktor (tanpa isolasi) yang digantung pada ketinggian tertentu pada tower dengan menggunakan isolator.

#### 2. Saluran Bawah Tanah

Kabel atau konduktor yang sudah terisolasi yang ditanam dibawah tanah dengan kedalaman tertentu.

### 3. Saluran Bawah Laut

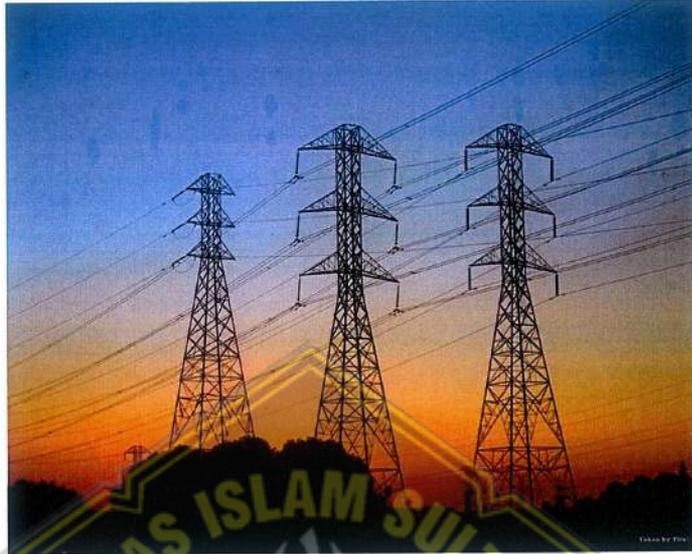
Kabel atau konduktor yang sudah terisolasi yang diletakan di dasar laut

Saluran transmisi biasanya digunakan untuk mengirimkan daya listrik untuk jarak yang relatif jauh. Dari ketiga jenis saluran transmisi, paling banyak digunakan adalah saluran udara, karena lebih ekonomis. Biaya pembangunan saluran udara relatif lebih ringan dibandingkan dengan jenis yang lain, karena menggunakan penghantar tanpa isolasi, sedang jenis yang lain harus menggunakan penghantar berisolasi. Penghantar merupakan komponen pokok dari saluran transmisi, sehingga biaya pembangunannya sangat dipengaruhi oleh jenis penghantar yang digunakan. Saluran bawah tanah dan saluran bawah laut hanya digunakan jika saluran udara tidak lagi bisa digunakan, misalnya untuk menyalurkan daya antar pulau.

Sedangkan pada saluran bawah tanah dan saluran bawah laut, kekuatan fisik maupun elektris isolasi penghantar merupakan hal yang sangat penting, karena bila terjadi kerusakan atau kebocoran akan sangat membahayakan lingkungan di sekitarnya. Sedangkan pada saluran udara, yang penting adalah memenuhi batas ketinggian saluran minimum, sehingga induksi elektromagnetik dan pengaruh medan magnet yang ditimbulkan tidak membahayakan penghuni atau tanaman yang ada di bawah saluran tersebut[12].

Dan level tegangan saluran transmisi terdiri dari:

1. **Saluran Udara Tegangan Tinggi (SUTT) : 70 – 150 kV**
2. **Saluran Udara Tegangan Ekstra Tinggi (SUTET) : 150 – 750 kV**
3. **Saluran Udara Tegangan Ultra Tinggi (SUTUT) : > 750 kV**



Gambar 2.3 Saluran Transmisi[21]

#### 2.2.4 Saluran Distribusi

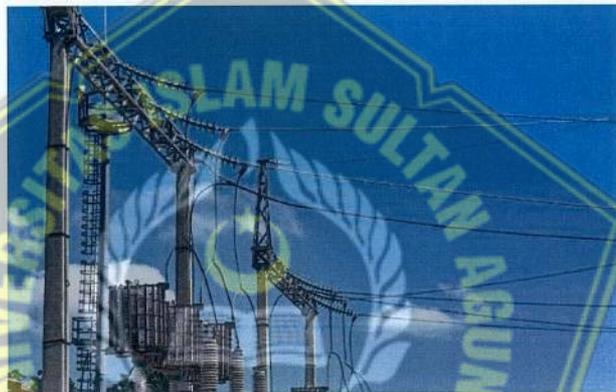
Sistem distribusi ini merupakan bagian dari sistem tenaga listrik yang berupa jaringan penghantar yang menghubungkan antara gardu induk pusat dengan pelanggan dimana fungsi dari saluran distribusi ini sendiri adalah mendistribusikan energi listrik ke pelanggan sesuai kebutuhan. Jaringan distribusi dalam operasinya tidak bisa dipisahkan dengan gardu induk distribusi. Sistem jaringan distribusi sendiri dibagi menjadi 2 yaitu:

1. Jaringan Distribusi Primer

Sistem Distribusi Primer digunakan untuk menyalurkan tenaga listrik dari gardu induk distribusi ke pusat pengatur beban, maupun kabel tanah sesuai dengan tingkat kehandalan yang diinginkan dan kondisi serta kondisi serta situasi lingkungan. Sistem distribusi primer dibatasi dari sisi sekunder trafo *step down* TT/TM di gardu induk sampai ke sisi primer trafo distribusi (trafo *step down* TM/TR).

## 2. Jaringan Distribusi Sekunder

Sistem Distribusi Sekunder digunakan untuk menyalurkan tenaga listrik dari gardu distribusi ke instalasi pengguna tenaga listrik. Sistem ini biasanya disebut tegangan rendah yang langsung dihubungkan kepada konsumen/pemakai tenaga listrik. Sistem distribusi sekunder dibatasi dari sisi sekunder trafo distribusi (trafo stepdown TM/TR) sampai titik Sambungan Luar Pelayanan (SLP) atau konsumen. Saluran distribusi ini menggunakan tegangan rendah yaitu 220/380 volt.



Gambar 2.4 Saluran Distribusi[22]

### 2.2.5 Economic Dispatch

Suatu pembangkit termal memiliki alat pembakaran yang dinamakan dengan boiler sehingga dihasilkan uap panas kering (*steam*) yang akan digunakan untuk memutar sudu-sudu turbin. Sudu-sudu turbin yang berputar akan memutar poros turbin yang terhubung langsung dengan poros generator, sehingga akan menghasilkan energi listrik. Seperti yang kita ketahui bahwa generator berfungsi untuk mengubah energi mekanik (poros turbin yang berputar) menjadi energi listrik yang nantinya akan disalurkan ke gardu induk melalui transformator. Efisiensi, operasi ekonomis, dan perencanaan sistem pembangkit tenaga listrik selalu menjadi peranan penting dalam industri tenaga listrik. Semakin efisien dan ekonomis suatu sistem pembangkit tenaga listrik berarti semakin kecil biaya yang harus dikeluarkan untuk mengoperasikan sistem

tersebut. Efisiensi bahan bakar, selain secara ekonomis menguntungkan, dapat menghemat penggunaan bahan bakar yang sebagian besar adalah sumber daya alam yang tak dapat diperbaharui. Efisiensi yang tinggi dan mampu menghasilkan listrik yang ekonomis membuat PLTU menjadi pembangkit yang sering digunakan. Pembangunan PLTU sebagai salah satu upaya memenuhi kebutuhan energi listrik untuk mencapai rasio elektrifikasi 100% dan juga untuk mendukung pembangunan nasional [14]. Dalam pembangkitan tenaga listrik ada empat komponen biaya yang biasanya harus diperhitungkan yaitu:

1. Komponen A merupakan *fixed cost*, yaitu biaya yang harus tetap dikeluarkan terlepas dari pembangkit listrik tersebut dioperasikan atau tidak, misalnya pekerjaan sipil, biaya pembelian turbin, generator, dan lain-lain.
2. Komponen B merupakan *fixed cost*, yaitu biaya yang tetap dikeluarkan untuk operasi dan pemeliharaan pembangkit, seperti gaji pegawai, biaya pemeliharaan, dan lain-lain.
3. Komponen C merupakan *fuel cost* atau biaya bahan bakar yakni biaya bahan bakar yang relatif berubah-ubah tergantung dari beberapa faktor misalnya banyaknya konsumsi bahan bakar yang diperlukan, jenis bahan bakarnya, lama waktu penyalaan pembangkit, dan beberapa hal lainnya.
4. Komponen D merupakan *variable cost* yakni biaya dapat berubah-ubah. Misalnya, biaya untuk pelumas. Semakin sering dan berat kerja suatu pembangkit, semakin juga dibutuhkan banyak pelumas. Maka, biaya komponen ini akan meningkat.

Bagian terbesar dari pembiayaan dalam pembangkitan tenaga listrik adalah komponen C atau biaya bahan bakar yang mencakup hampir 60-70% dari total pembiayaan. Oleh karena itu, sangat diperlukan cara yang optimal dan efisien dalam pengoperasian pembangkit guna mengurangi biaya bahan bakar yang ada [15]. PLTU Tanjung Jati B menggunakan batubara sebagai bahan bakar utama yang memiliki nilai kalori sebesar 5.300 sampai 5.800 kCal/Kg dengan jenis *subbituminous* yang berasal

dari tambang di Kalimantan, sedangkan bahan bakar HSD (*High Speed Diesel*) digunakan sebagai bahan bakar cadangan yang digunakan sebagai *back up consumption* apabila unit sedang mengalami gangguan. PLTU Tanjung Jati B memiliki 4 Unit, dengan pembagian masing-masing unit berkapasitas 660 MW. Sehingga total daya terpasang yaitu sebesar 2.640 MW dan menjadikan PLTU Tanjung Jati B menjadi salah satu kompleks pembangkit terbesar di Indonesia.

Umumnya sistem tenaga listrik mempunyai lebih dari 1 pusat pembangkit, sehingga timbul masalah untuk membagi beban di antara unit-unit pembangkit sesuai permintaan beban pada sistem tersebut. Selain itu pembagian beban di antara unit-unit pembangkit harus mempertimbangkan biaya operasi pembangkit agar seekonomis mungkin. Permasalahan tersebut dapat diatasi dengan *Economic Dispatch* [14]. Tujuan utama *Economic Dispatch* adalah menjadwalkan keluaran unit pembangkit agar dapat memenuhi permintaan beban pada suatu sistem dengan biaya operasi seminimal mungkin. Perubahan sedikit saja pada *Economic Dispatch* dapat mengakibatkan perbedaan biaya operasi yang signifikan.

Besar beban pada suatu sistem tenaga berubah-ubah pada suatu beban tertentu, sehingga perhitungan pembebanan pembangkit secara optimal pada beban dan waktu yang berubah-ubah disebut *Dynamic Economic Dispatch* (DED). DED merupakan ED yang diperhitungkan setiap perubahan beban setiap waktunya [4]. Perhitungan *Dynamic Economic Dispatch* (DED) pada dasarnya mirip dengan perhitungan *Economic Dispatch* (ED). Perbedaannya terletak pada aspek waktu, di mana DED mempertimbangkan perubahan waktu sementara ED hanya berfokus pada satu titik waktu. Oleh karena itu, pembahasan di sini akan difokuskan pada perhitungan DED. Tujuan utama ED adalah meminimalkan konsumsi bahan bakar dari pembangkit listrik dengan menentukan daya output optimal untuk setiap pembangkit. Daya output tersebut harus berada dalam batasan tertentu.

Banyak metode yang dapat digunakan untuk menyelesaikan permasalahan *Dynamic Economic Dispatch* (DED), metode yang paling dasar adalah metode *Lagrange* dengan *Iterasi Lambda* dengan *Lambda* sebagai nilai *incremental cost* (biaya

tambahan) dari pembangkitan tenaga listrik tersebut. Metode-metode lain yang dapat digunakan dalam menyelesaikan permasalahan *Economic Dispatch* ini antara lain metode *gamma search*, *quadratic programming*, *Particle Swarm Organization*, *artificial bee Colony* dll.

Permasalahan *Economic Dispatch* adalah masalah optimasi yang kompleks. Proses optimasi ini bertujuan untuk meminimalkan biaya bahan bakar, yang umumnya memiliki karakteristik non-linear. Bentuk umum dari persamaan biaya pembangkitan direpresentasikan dengan fungsi kuadrat, seperti pada Persamaan (2.1). Biaya bahan bakar (*fuel cost*) merupakan komponen penting dalam biaya operasional. Biaya ini bervariasi tergantung jenis bahan bakar yang digunakan oleh setiap unit pembangkit dan sangat mempengaruhi fungsi biaya. Secara umum, biaya bahan bakar dapat dinyatakan sebagai berikut:

$$fuelcost = H \times \frac{\$}{M_{btu}} \dots\dots\dots (2.1)$$

Dimana

$H$  : Heat (Panas)

$BTU$  : *British Thermal Unit* (Satuan Panas British)

$\$$  : Satuan mata uang

*Fuel Cost* adalah harga per satuan panas bahan bakar, atau konversi satuan panas ke satuan mata uang. Pengaruh biaya bahan bakar terhadap fungsi biaya dapat dilihat pada persamaan objektif *Economic Dispatch* berikut:

$$H(P_i) = \alpha_i P_i^2 + \beta_i P_i + \gamma_i \dots\dots\dots (2.2)$$

$$F_i(P_i) = H(P_i) \times fuelcost \ i \dots\dots\dots (2.3)$$

$$F_{total} = \sum_{i=1}^n F_i(P_i) \dots\dots\dots (2.4)$$

Dimana

$n$  : jumlah generator

$F_i$  : Biaya pembangkitan pada pembangkit ke- $i$

$F_{total}$  : Biaya total pembangkitan

$\alpha_i \beta_i \gamma_i$  : Koefisien biaya bahan bakar

Daya output yang dihasilkan oleh setiap generator harus memenuhi kebutuhan daya sistem tenaga listrik dan berada dalam batas minimum serta maksimum daya yang bisa dibangkitkan oleh generator. Karena kompleksitas masalah ini, ED biasanya diselesaikan dengan metode iterasi. Besarnya daya yang dibangkitkan oleh unit pembangkit juga mempengaruhi rugi transmisi, yang pada gilirannya mempengaruhi nilai perhitungan *Economic Dispatch*.

Salah satu pendekatan konvensional untuk menyelesaikan persamaan *Economic Dispatch* adalah dengan menggunakan metode *Lagrange Multiplier*:

$$\mathcal{L} = F_t + \lambda(P_D + P_{loss} - \sum P_i) \dots\dots\dots (2.5)$$

Dimana

$F_t$  : Total Biaya Pembangkitan (Rp/jam)

$\lambda$  : *Lagrange Multiplier*

$P_D$  : Total kebutuhan beban pada sistem (MW)

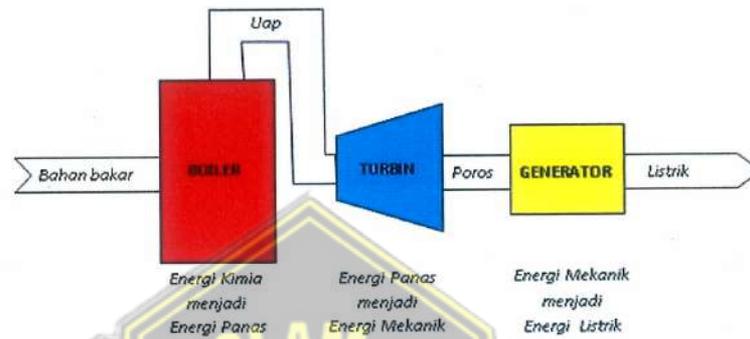
$P_{Loss}$  : Rugi Transmisi (MW)

$P_i$  : Daya Output masing-masing Pembangkit (MW)

### 2.2.6 Unit Pembangkit Termal

Secara umum pembangkit termis adalah pusat pembangkit tenaga listrik yang bekerja dengan menggunakan sumber bahan bakar berupa energi termis. Energi termis ini diubah menjadi energi mekanik terlebih dahulu, kemudian energi mekanik tersebut diubah menjadi energi listrik. Bahan bakar yang banyak dimanfaatkan untuk menghasilkan energi termis adalah minyak, gas, Batubara dan

batubara. Selain itu energi termis dapat diperoleh langsung dengan memanfaatkan panas matahari dan panas bumi.



**Gambar 2.5** Skema kerja PLTU[23]

Fungsi dari masing-masing komponen yang terdapat pada gambar skema kerja PLTU diatas adalah:

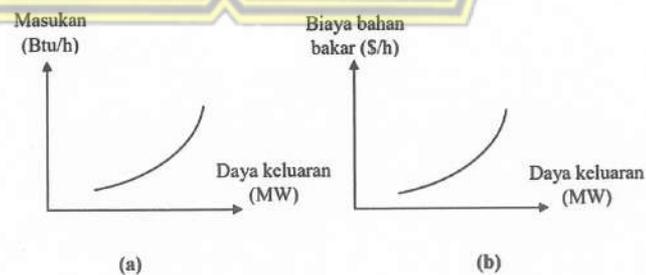
1. Boiler: Proses pemanasan air di dalam boiler mengubah air menjadi uap. Uap yang dihasilkan ini memiliki energi panas yang tinggi dan dapat digunakan untuk berbagai aktifitas seperti memutar turbin untuk pembangkit listrik atau menyediakan panas untuk keperluan industri.
2. Turbin: mengubah energi kinetik dari aliran fluida menjadi energi mekanis yang dapat digunakan untuk melakukan pekerjaan (memutar sudu-sudu turbin). Dalam konteks pembangkit listrik, fluida tersebut dapat berupa uap (dari boiler pada pembangkit listrik tenaga uap), air (pada pembangkit listrik tenaga air), atau gas (pada pembangkit listrik tenaga gas).
3. Generator: Generator digunakan dalam berbagai jenis pembangkit listrik, termasuk pembangkit listrik tenaga uap, pembangkit listrik tenaga air, pembangkit listrik tenaga angin, dan pembangkit listrik tenaga gas. Energi mekanis yang diberikan oleh turbin atau sumber

daya mekanis lainnya digunakan untuk memutar rotor dalam generator, menghasilkan arus listrik yang dapat digunakan untuk menyediakan daya listrik untuk berbagai keperluan.

## 2.2.7 Karakteristik Unit Pembangkit Termis

### 2.2.7.1 Karakteristik *Input – Output*

Biaya operasi unit pembangkit termis sangat ditentukan oleh besarnya biaya bahan bakar yang digunakan. 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. Pada pembangkit termis masukan atau bahan bakar dinyatakan dalam BTU (*British Thermal Unit*)/h (*hour*) dan keluaran dinyatakan dalam MW. Kurva hubungan antara karakteristik *input-output* pembangkit dapat dilihat pada gambar dibawah ini. Kurva tersebut diperoleh dari hasil *Heat Rate Test*. Dengan *heat rate test* akan diperoleh titik-titik data biasanya tidak jatuh pada kurva yang halus. Daya keluaran minimum (min.) dan maksimum (maks.) merupakan batasan pada pengoperasian pembangkit [15].



Gambar 2.6 (a) Kurva Input-Output, (b) Kurva Biaya Bahan Bakar [18]

Konversi masukan bahan bakar (Btu/h) ke biaya operasi (\$/h) akan menghasilkan kurva biaya operasi yang dapat dilihat pada gambar dibawah ini. Dalam implementasinya kurva tersebut akan berupa fungsi polinomial berderajat dua (kuadratik):

$$F_i(P_i) = a_i P_i^2 + b_i P_i + c_i \dots\dots\dots (2.6)$$

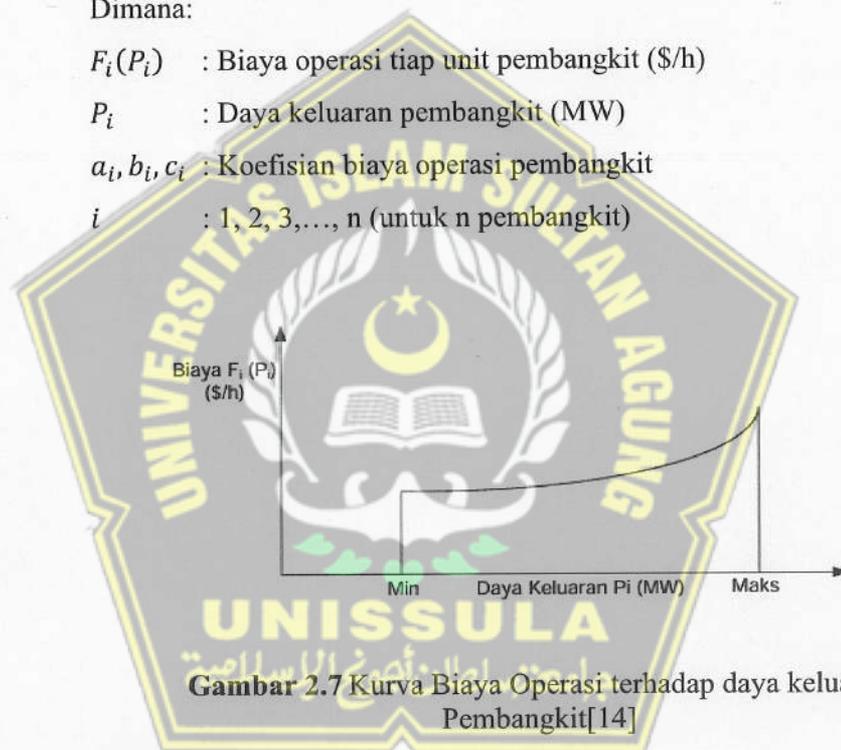
Dimana:

$F_i(P_i)$  : Biaya operasi tiap unit pembangkit (\$/h)

$P_i$  : Daya keluaran pembangkit (MW)

$a_i, b_i, c_i$  : Koefisien biaya operasi pembangkit

$i$  : 1, 2, 3, ..., n (untuk n pembangkit)



**Gambar 2.7** Kurva Biaya Operasi terhadap daya keluaran Pembangkit[14]

### 2.2.8 Metode Lagrange

Metode *Lagrange* sering digunakan untuk menyelesaikan persamaan Ekonomi Dinamis (*Economic Dispatch*). Metode ini bertujuan menghitung biaya minimal pembangkitan listrik berdasarkan nilai *Lambda* dari persamaan *Economic Dispatch* pada setiap waktu tertentu. Oleh karena itu, jika terjadi perubahan waktu atau beban, metode ini akan menghitung kembali nilai *Lambda* dan biaya minimum yang dibutuhkan. *Lagrange Multiplier* merupakan teknik

dalam matematika, khususnya dalam optimasi multivariat, yang digunakan untuk mencari nilai maksimum atau minimum dari suatu fungsi yang dibatasi oleh satu atau lebih kendala (*constraints*).

Adapun persamaan *Lagrange Multiplier* dapat dilihat seperti berikut:

$$\mathcal{L} = F_t + \lambda(P_D + P_{loss} - \sum P_i) \dots\dots\dots (2.7)$$

Dimana

$F_t$  : Total Biaya Pembangkitan (Rp/jam)

$\lambda$  : *Lagrange Multiplier*

$P_D$  : Total kebutuhan beban pada sistem (MW)

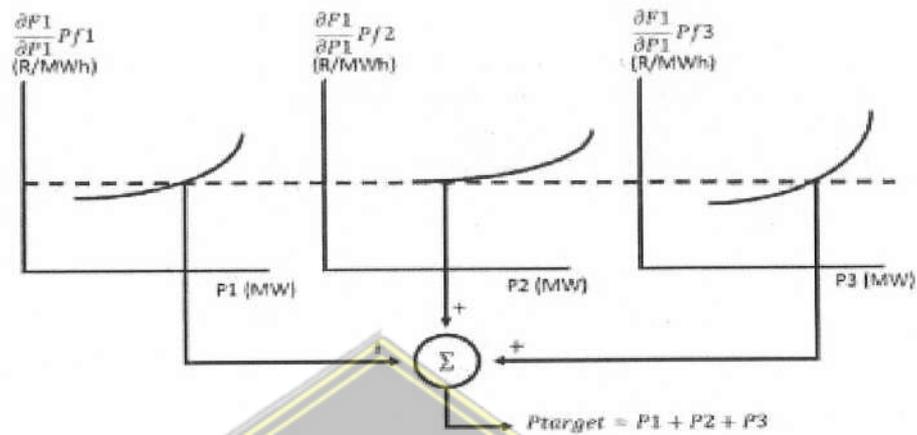
$P_{Loss}$  : Rugi Transmisi (MW)

$P_i$  : Daya Output masing-masing Pembangkit (MW)

Nilai minimum dari persamaan ini diperoleh saat turunan parsial terhadap daya yang dibangkitkan sama dengan nol.

$$\frac{\partial \mathcal{L}}{\partial \lambda} = \sum_{i=1}^4 P_i - P_D = 0 \dots\dots\dots (2.8)$$

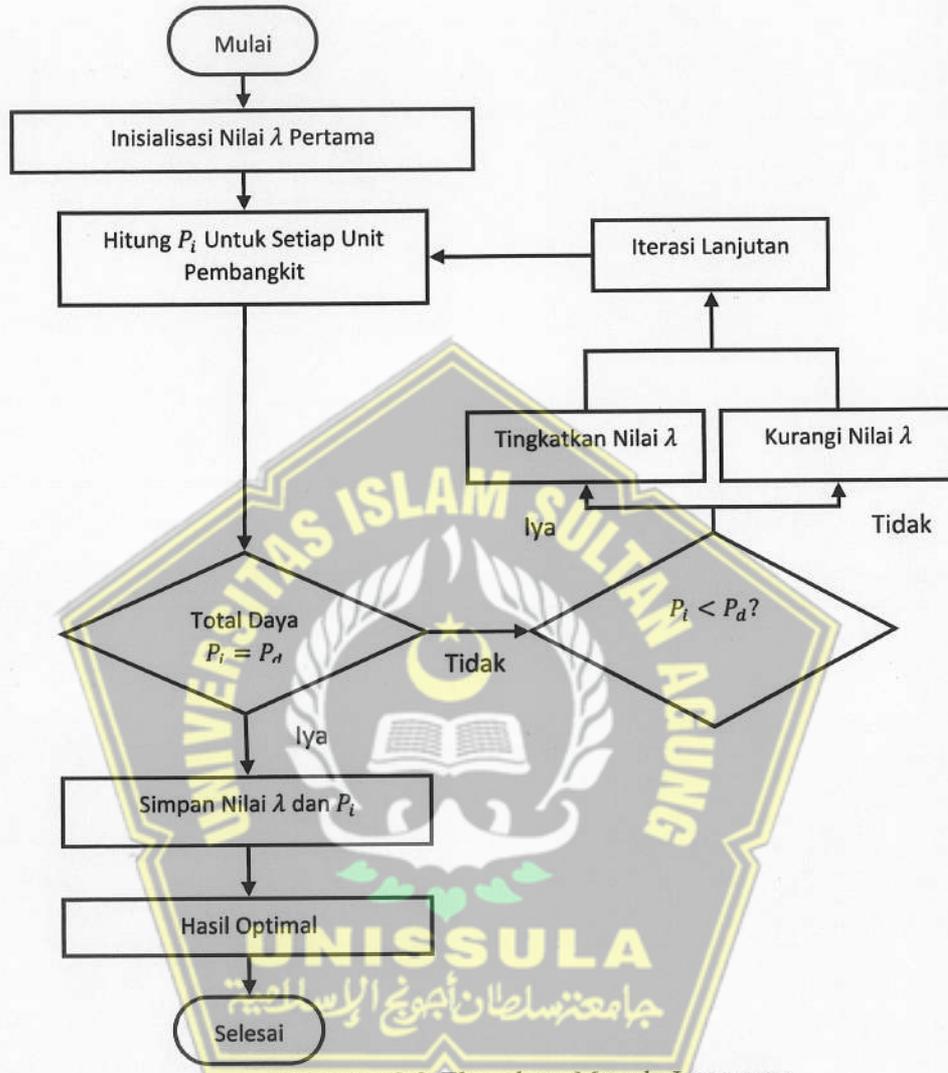
Dalam metode *Lagrange*, nilai *Lambda* dari persamaan di atas sangat penting. Metode yang digunakan dalam Penelitian ini untuk menyelesaikan persamaan *Dynamic Economic Dispatch* adalah metode iterasi *Lambda*. Konsep iterasi *Lambda* melibatkan pengamatan karakteristik *incremental heat rate* (ihr) dari setiap unit pembangkit. Gambar 2.8 menunjukkan bagaimana konsep iterasi *Lambda* bekerja. *Lambda* yang dimaksud di sini adalah nilai dari *incremental heat rate* [19]



**Gambar 2.8** Konsep Iterasi *Lambda*

Dengan menggunakan kurva karakteristiknya, kita dapat menentukan daya yang dibangkitkan untuk setiap nilai *Lambda*. Nilai *Lambda* ini diiterasi sampai menghasilkan daya total yang memenuhi beban keseluruhan.

Pada metode iterasi *Lambda*, nilai *Lambda* pertama akan ditentukan terlebih dahulu. Tentunya nilai dari *Lambda* pertama bukanlah hasil yang benar. Ketika nilai total dari  $P_1 + P_2 + P_3 + \dots P_i < P_{target}$  maka nilai  $\lambda$  untuk iterasi berikutnya akan bertambah lebih besar dari nilai  $\lambda$  sebelumnya. Dan sebaliknya, jika nilai total  $P_1 + P_2 + P_3 + \dots P_i > P_{target}$  maka nilai *Lambda* untuk iterasi berikutnya akan lebih kecil daripada nilai dari *Lambda* sebelumnya. Proses ini akan melakukan iterasi nilai *Lambda* hingga mendapatkan hasil dimana  $P_1 + P_2 + P_3 + \dots P_i = P_{target}$ .



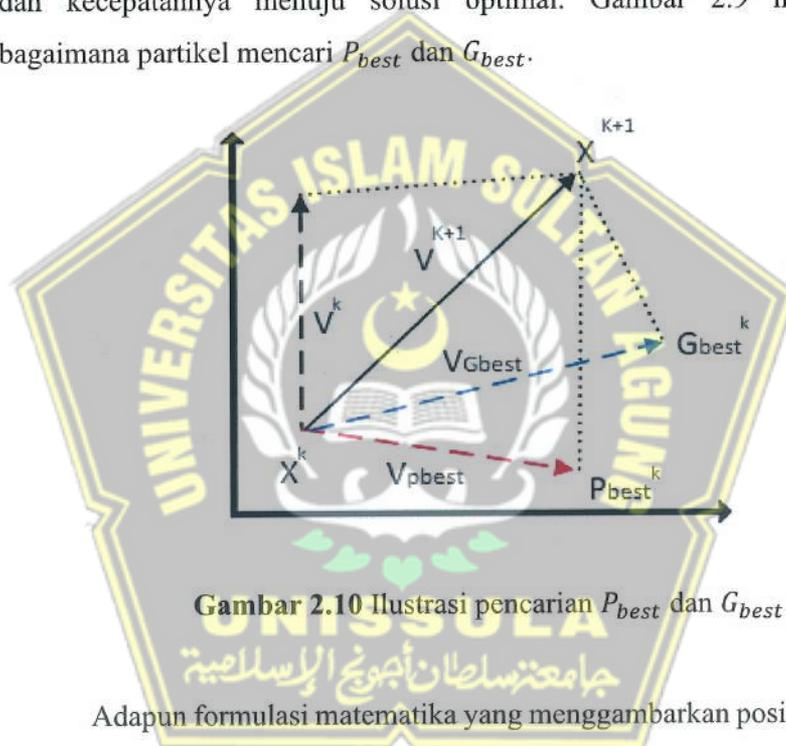
Gambar 2.9 Flowchart Metode Lagrange.

### 2.2.9 Particle Swarm Optimization (PSO)

PSO (*Particle Swarm Optimization*) adalah metode optimasi berbasis populasi yang dikembangkan oleh Kennedy dan Eberhart pada tahun 1995. PSO menggunakan prosedur pencarian yang melibatkan populasi, di mana setiap anggota populasi disebut partikel. Kumpulan partikel ini membentuk suatu

kelompok yang disebut Swarm. Setiap partikel dalam *Swarm* mewakili calon solusi dan bergerak dalam ruang pencarian multidimensi [20].

Selama proses pencarian, setiap partikel dalam PSO berusaha menemukan posisi terbaiknya sendiri berdasarkan pengalaman individu yang disebut  $P_{best}$ , serta posisi terbaik berdasarkan pengalaman partikel-partikel tetangganya yang disebut  $G_{best}$ . Proses pencarian ini membantu partikel untuk menyesuaikan posisi dan kecepatannya menuju solusi optimal. Gambar 2.9 mengilustrasikan bagaimana partikel mencari  $P_{best}$  dan  $G_{best}$ .



Gambar 2.10 Ilustrasi pencarian  $P_{best}$  dan  $G_{best}$ .

Adapun formulasi matematika yang menggambarkan posisi dan kecepatan partikel dalam dimensi tertentu adalah sebagai berikut.

$$x_1(0), x_2(0), \dots, x_n(0) \dots\dots\dots (2.9)$$

$$V_1(0), V_2(0), \dots, V_n(0) \dots\dots\dots (2.10)$$

Modifikasi ini dapat diwakili sebagai sebuah konsep kecepatan, kecepatan dari setiap partikel dapat dirumuskan pada persamaan berikut.

$$\begin{aligned}
 V_{k+1} &= wv_k + c_1r_1(P_{best_i} - x_k + c_2r_2(G_{best_i} - x_k)) \\
 X_{k+1} &= X_k + V_{k+1}) \dots\dots\dots
 \end{aligned}
 \tag{2.11}$$

Menggunakan persamaan di atas kecepatan tertentu secara berharap akan semakin mendekati  $P_{best}$  dan  $G_{best}$ . Adapun posisi ketika sedang melakukan pencarian saat ini dapat dicari dengan persamaan berikut.

$$x_i(t) = v_i(t) + x_i(t - 1) \dots\dots\dots \tag{2.12}$$

Adapun bobot inersia untuk meredam kecepatan selama iterasi menuju titik target secara lebih akurat dan efisien. Untuk mencapai itu bobot inersia diperkecil nilainya semakin bertambahnya iterasi adalah sebagai berikut:

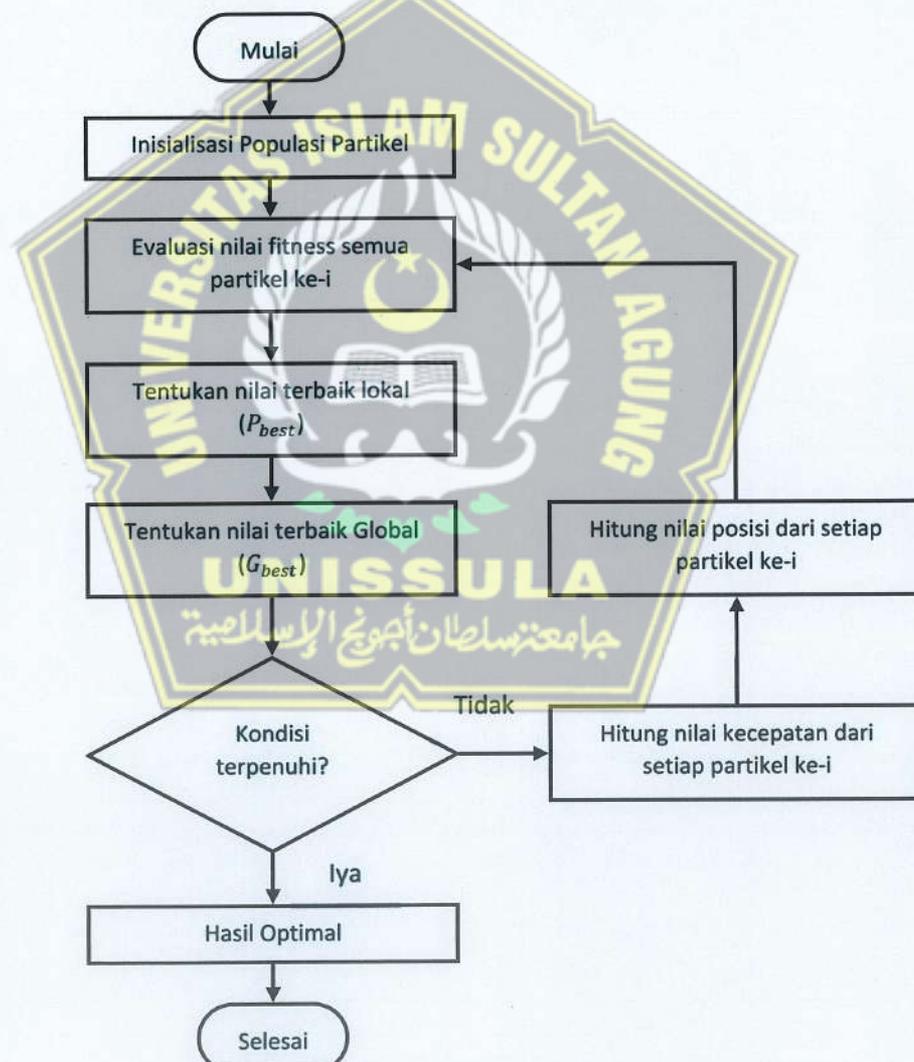
$$w(t) = w_{max} - \frac{w_{max} - w_{min}}{max.iter} \times t \dots\dots\dots \tag{2.13}$$

Dimana:

- $x$  : Posisi partikel
- $V$  : Kecepatan Partikel
- $i$  : Indeks Partikel
- $t$  : iterasi ke-t
- $P_{best_i}$  : Posisi terbaik lokal
- $G_{best_i}$  : Posisi terbaik global
- $w$  : bobot inersia
- $c_1, c_2$  : Konstanta positif = 2
- $r_1, r_2$  : Bilangan random berkisar antara 0 sampai 1
- $w_{max}, w_{min}$  : iterasi ke-t
- $max.iter$  : iterasi maksimal

Adapun langkah-langkah dari metode PSO adalah sebagai berikut:

1. Mengumpulkan parameter yang dibutuhkan.
2. Membangkitkan posisi dan kecepatan awal secara random.
3. Evaluasi *fitness* masing-masing berdasarkan posisinya.
4. Update kecepatan atau *velocity*.
5. Tentukan partikel dengan *fitness* terbaik dan tetapkan sebagai  $G_{best}$ .
6. Ulangi langkah tersebut sehingga didapatkan kriteria yang diinginkan.



Gambar 2.10 Flowchart Particle Swarm optimization.

## BAB III METODOLOGI PENELITIAN

### 3.1 Model Penelitian

Penelitian ini menggunakan model optimasi dimana dalam penelitian ini didasarkan pada fungsi biaya pembangkitan yang bersifat kuadratik, sebagaimana ditunjukkan pada persamaan (2.6). Model ini memperhitungkan hubungan antara output daya dari masing-masing unit pembangkit dan total biaya operasi. Model ini menjadi dasar perhitungan pada kedua metode optimasi yang digunakan, yaitu metode Lagrange dan Particle Swarm Optimization (PSO) untuk mengevaluasi *Economic Dispatch* (ED) pada Pembangkit Listrik Tenaga Uap (PLTU) Tanjung Jati B, Metode *Lagrange Multiplier* adalah pendekatan matematis yang memanfaatkan pembatasan (*constraint*) untuk mencari nilai minimum fungsi objektif, sedangkan PSO adalah algoritma optimisasi berbasis populasi yang mengimitasi perilaku gerakan kelompok dalam pencarian solusi terbaik.

#### 3.1.1 Metode *Lagrange Multiplier*

Metode *Lagrange* digunakan dalam penelitian ini untuk menyelesaikan permasalahan *Economic Dispatch* (ED) pada Pembangkit Listrik Tenaga Uap (PLTU) Tanjung Jati B. ED adalah proses penting dalam manajemen pembangkit listrik yang bertujuan untuk mengalokasikan daya yang dihasilkan oleh masing-masing unit pembangkit agar biaya operasionalnya minimal, sambil memenuhi permintaan beban listrik yang berfluktuasi.

Metode *Lagrange* pada dasarnya adalah teknik optimasi matematis yang memanfaatkan multipliers *Lagrange* untuk menyelesaikan fungsi objektif dengan mempertimbangkan sejumlah kendala (*constraints*) yang dimiliki sistem. Dalam konteks *Economic Dispatch*, fungsi objektifnya adalah untuk meminimalkan biaya operasional total dari pembangkit listrik, yang terdiri dari

biaya bahan bakar dan biaya operasional lainnya, seperti biaya pemeliharaan dan biaya operasi harian.

Langkah-langkah Implementasi Metode *Lagrange Multiplier*:

1. Formulasi Fungsi Objektif: Menentukan fungsi objektif berdasarkan biaya operasional pembangkit listrik yang meliputi biaya bahan bakar dan biaya operasional lainnya.
2. Penyusunan Persamaan Kendala: Membuat persamaan kendala berdasarkan kapasitas masing-masing unit pembangkit, permintaan beban, dan karakteristik teknis lainnya seperti minimum dan maksimum daya yang dapat dihasilkan oleh setiap unit.
3. Pemodelan Matematis: Menggabungkan fungsi objektif dan persamaan kendala menjadi model matematis untuk *Economic Dispatch* menggunakan pendekatan *Lagrange*.
4. Perhitungan Multiplier *Lagrange*: Menghitung nilai multiplier *Lagrange* untuk setiap kendala yang diterapkan pada model, yang mencerminkan tingkat sensitivitas terhadap perubahan permintaan atau kondisi operasional lainnya. Nilai  $\lambda$  diperoleh dengan menyelesaikan persamaan turunan parsial dari fungsi Lagrangian.
5. Penyelesaian Persamaan: Menyelesaikan model matematis menggunakan teknik iteratif atau analitik untuk mencari nilai minimum dari fungsi objektif, yang akan memberikan alokasi daya optimal dari masing-masing unit pembangkit. Solusi diperoleh dengan menyelesaikan sistem persamaan yang dihasilkan dari turunan parsial fungsi Lagrangian terhadap  $P_i$  dan  $\lambda$

### 3.1.2 Particle Swarm Optimization (PSO)

Metode *Particle Swarm Optimization* (PSO) adalah salah satu teknik optimasi berbasis populasi yang digunakan untuk memecahkan berbagai masalah

optimasi, termasuk dalam konteks *Economic Dispatch* (ED) di Pembangkit Listrik Tenaga Uap (PLTU) Tanjung Jati B. PSO dikembangkan oleh Kennedy dan Eberhart pada tahun 1995, terinspirasi oleh perilaku sosial kawanan burung dan ikan dalam mencari makanan.

PSO merupakan metode yang efektif dan efisien dalam menemukan solusi optimal pada masalah yang kompleks dan berdimensi tinggi. Dalam penerapannya pada *Economic Dispatch*, PSO bertujuan untuk mengalokasikan daya yang dihasilkan oleh setiap unit pembangkit sedemikian rupa sehingga biaya operasional total menjadi minimal, sambil memenuhi permintaan beban dan batasan teknis dari unit pembangkit.

Langkah-langkah dasar dalam PSO adalah sebagai berikut:

1. Inisialisasi Partikel: Menetapkan populasi awal partikel dalam ruang pencarian, di mana setiap partikel mewakili sebuah solusi potensial untuk alokasi daya pembangkit.
2. Evaluasi *Fitness*: Menghitung nilai *fitness* atau nilai objektif dari setiap partikel berdasarkan fungsi objektif yang telah ditetapkan (dalam hal ini biaya operasional total) Fungsi objektif dapat dilihat pada persamaan 2.4.
3. Update Kecepatan dan Posisi: Kecepatan dan posisi partikel diperbarui berdasarkan pengalaman terbaik partikel tersebut ( $P_{best}$ ) dan pengalaman terbaik kawanan ( $G_{best}$ ). Formula matematis untuk update kecepatan ( $V_i$ ) dan posisi ( $x_i$ ) dapat dilihat pada persamaan 2.21 dan 2.22.
4. Penyesuaian Optimal: Menyesuaikan posisi partikel secara iteratif berdasarkan pergerakan ke arah solusi optimal, dengan mempertimbangkan faktor inersia dan faktor kognitif serta sosial dari setiap partikel.

5. Kriteria Berhenti: Menghentikan proses iterasi ketika kondisi berhenti yang ditentukan tercapai, seperti mencapai batas iterasi maksimal atau mencapai toleransi kesalahan yang telah ditetapkan.

Metode *Lagrange Multiplier* memungkinkan untuk analisis yang lebih mendetail terhadap hubungan antara variabel daya yang dihasilkan dengan biaya operasional, sementara PSO memberikan pendekatan yang adaptif dan dinamis dalam menemukan solusi optimal di tengah fluktuasi permintaan beban. Dengan demikian, penelitian ini tidak hanya bertujuan untuk menghitung dan membandingkan biaya operasional, tetapi juga untuk memberikan pandangan yang komprehensif terhadap efisiensi penggunaan sumber daya energi dalam operasional PLTU Tanjung Jati B.

### 3.2 Bahan Penelitian

Bagian ini menjelaskan bahan dan materi yang digunakan dalam penelitian untuk melakukan analisis perbandingan *Economic Dispatch* pada PLTU Tanjung Jati B menggunakan metode *Lagrange* dan *Particle Swarm Optimization* (PSO). Bahan/materi penelitian mencakup data tanggal dan waktu pengamatan, permintaan beban, distribusi beban, kapasitas pembangkit, data *heatrate* pembangkit dan data bahan bakar yang meliputi data kalori dan harga batubara.

#### 3.2.1 Data Pembangkit

Data pembangkit adalah data yang mencakup informasi tentang permintaan beban listrik pada berbagai waktu, distribusi beban di antara unit-unit pembangkit, dan total daya yang dihasilkan. Data ini penting untuk memodelkan dan mengevaluasi *Economic Dispatch* pada PLTU Tanjung Jati B.

**Tabel 3.1** Data Pembangkit

No	Jenis Data	Keterangan
1	Tanggal dan Waktu Pengamatan	1 Desember 2023 dari pukul 10:30-23:30
2	Permintaan Beban Unit 1-4	600 MW
3	Kapasitas Terpasang	710 MW
4	Kapasitas (DMN)	660 MW
5	Biaya Batubara	Unit 1&2 : 1.018 Rp/kg Unit 3&4 : 1.075 Rp/kg
6	Kalori Batubara	Unit 1&2 : 5.450 kCal/kg Unit 3&4 : 5.543 kCal/kg
7	Heatrate (Berdasarkan pengujian PUSLITBANG)	Unit 1&2 (kCal/kwh) Prosentase 60% : 2.809,50 Prosentase 75% : 2.589,60 Prosentase 90% : 2.502,00 Prosentase 100% : 2.531,60 Unit 1&2 (kCal/kwh) Prosentase 60% : 2.471,89 Prosentase 75% : 2.281,14 Prosentase 90% : 2.249,83 Prosentase 100% : 2.259,52

### 3.3 Alat yang Digunakan

Bagian ini menjelaskan alat-alat yang digunakan dalam penelitian untuk melakukan analisis perbandingan *Economic Dispatch* (ED) pada PLTU Tanjung Jati B dengan menggunakan metode *Lagrange* dan *Particle Swarm Optimization* (PSO).

Penggunaan alat yang tepat dan relevan sangat penting untuk mendukung pengumpulan, pengolahan, dan analisis data dalam penelitian ini.

1. Perangkat Keras:

- Komputer/Laptop: Digunakan sebagai alat utama untuk menjalankan perangkat lunak dan algoritma yang digunakan dalam penelitian ini.

2. Perangkat Lunak

- Python: Bahasa pemrograman utama yang digunakan untuk mengimplementasikan algoritma *Lagrange* dan PSO. Python dipilih karena fleksibilitas dan kekayaan pustaka yang mendukung analisis data dan optimasi. Library yang Digunakan:

- NumPy: Untuk komputasi numerik dan operasi array.
- Pandas: Untuk pengolahan dan analisis data.
- SciPy: Untuk fungsi-fungsi ilmiah dan teknik optimasi.

- Microsoft Excel: Digunakan untuk mengelola data operasional pembangkit dan melakukan analisis awal. Excel juga digunakan untuk visualisasi data dan pembuatan grafik yang membantu dalam pemahaman data.

3. Alat Bantu Lainnya

- Kalkulator Ilmiah: Digunakan untuk perhitungan manual yang mungkin diperlukan selama proses penelitian.
- Buku dan Literatur Teknis: Referensi teori dan metode optimasi, serta panduan penggunaan perangkat lunak yang relevan.
- Internet: Untuk mencari referensi tambahan, literatur ilmiah, dan bantuan teknis yang mungkin diperlukan selama proses penelitian.

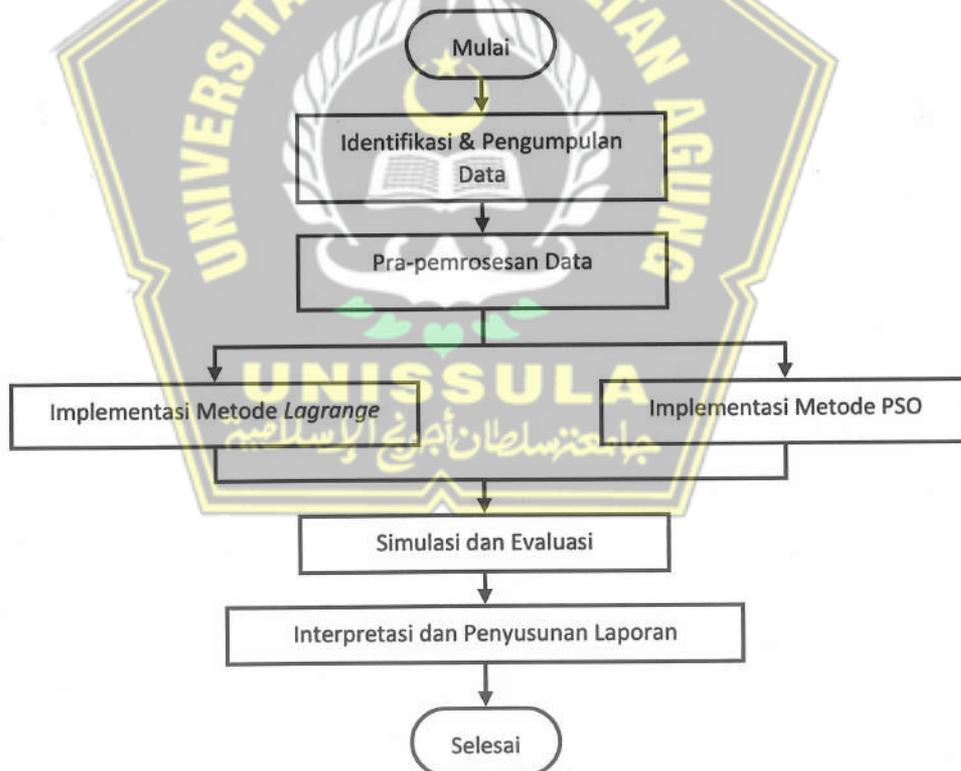
4. Alat Pengumpulan Data

- Dokumen dan Laporan Operasional: Laporan harian, bulanan, dan tahunan dari PLTU Tanjung Jati B yang menyediakan data permintaan beban, distribusi beban, dan biaya operasional.

Dengan menggunakan perangkat keras dan lunak yang sesuai serta alat bantu lainnya, penelitian ini dapat dilakukan secara efektif dan efisien. Penggunaan alat yang tepat mendukung analisis yang mendalam dan penyajian hasil yang akurat, sehingga tujuan penelitian dapat tercapai dengan baik.

### 3.4 Langkah-langkah Penelitian

Bagian ini menjelaskan secara rinci langkah-langkah yang diambil dalam penelitian untuk menganalisis dan membandingkan penggunaan metode *Lagrange* dan *Particle Swarm Optimization* (PSO) dalam penerapan *Economic Dispatch* (ED) pada PLTU Tanjung Jati B. Langkah-langkah ini dirancang untuk memastikan bahwa penelitian dilakukan secara sistematis dan menghasilkan data yang akurat dan dapat diandalkan.



Gambar 3.1 Flowchart Penelitian

### 1. Identifikasi dan Pengumpulan Data

Langkah pertama dalam penelitian ini adalah mengidentifikasi dan mengumpulkan data yang diperlukan. Adapun data yang dikumpulkan berupa data operasional harian dari PLTU Tanjung Jati B, termasuk permintaan beban dan distribusi beban, data teknis mengenai karakteristik masing-masing unit pembangkit, seperti kapasitas maksimum dan minimum, serta biaya operasional dan data biaya bahan bakar dan heat rate untuk masing-masing unit pembangkit.

### 2. Pra-Pemrosesan Data

Setelah data dikumpulkan, langkah berikutnya adalah pra-pemrosesan data untuk memastikan data tersebut siap digunakan dalam analisis. Proses ini meliputi validasi data untuk memastikan kelengkapan dan konsistensi, pembersihan data untuk menghilangkan data yang tidak valid atau anomali dan normalisasi data untuk memudahkan analisis lebih lanjut.

### 3. Implementasi Metode *Lagrange* dan Metode *Particle Swarm Optimization* (PSO)

- Metode *Lagrange*

Langkah-langkah untuk implementasi metode *Lagrange* adalah sebagai berikut:

- Formulasi Fungsi Objektif: Menentukan fungsi objektif berdasarkan biaya operasional pembangkit listrik yang meliputi biaya bahan bakar dan biaya operasional lainnya.
- Penyusunan Persamaan Kendala: Membuat persamaan kendala berdasarkan kapasitas masing-masing unit pembangkit, permintaan beban, dan karakteristik teknis lainnya seperti minimum dan maksimum daya yang dapat dihasilkan oleh setiap unit.

- Pemodelan Matematis: Menggabungkan fungsi objektif dan persamaan kendala menjadi model matematis untuk *Economic Dispatch* menggunakan pendekatan *Lagrange*.
- Perhitungan Multiplier *Lagrange*: Menghitung nilai multiplier *Lagrange* untuk setiap kendala yang diterapkan pada model, yang mencerminkan tingkat sensitivitas terhadap perubahan permintaan atau kondisi operasional lainnya.
- Penyelesaian Persamaan: Menyelesaikan model matematis menggunakan teknik iteratif atau analitik untuk mencari nilai minimum dari fungsi objektif, yang akan memberikan alokasi daya optimal dari masing-masing unit pembangkit.
- Metode *Particle Swarm Optimization* (PSO)  
Langkah-langkah untuk implementasi metode PSO adalah sebagai berikut:
  - Inisialisasi Partikel: Menetapkan populasi awal partikel dalam ruang pencarian, di mana setiap partikel mewakili sebuah solusi potensial untuk alokasi daya pembangkit.
  - Evaluasi *Fitness*: Menghitung nilai *fitness* atau nilai objektif dari setiap partikel berdasarkan fungsi objektif yang telah ditetapkan (dalam hal ini biaya operasional total).
  - Update Kecepatan dan Posisi: Kecepatan dan posisi partikel diperbarui berdasarkan pengalaman terbaik partikel tersebut ( $P_{best}$ ) dan pengalaman terbaik kawanan ( $G_{best}$ ). Formula matematis untuk update kecepatan ( $V_i$ ) dan posisi ( $x_i$ ) diterapkan pada tahap ini.
  - Penyesuaian Optimal: Menyesuaikan posisi partikel secara iteratif berdasarkan pergerakan ke arah solusi optimal, dengan mempertimbangkan faktor inersia dan faktor kognitif serta sosial dari setiap partikel.

- Kriteria Berhenti: Menghentikan proses iterasi ketika kondisi berhenti yang ditentukan tercapai, seperti mencapai batas iterasi maksimal atau mencapai toleransi kesalahan yang telah ditetapkan.

#### 4. Simulasi dan Evaluasi

Setelah kedua metode diterapkan, langkah selanjutnya adalah melakukan simulasi dan evaluasi hasil. Langkah-langkahnya meliputi:

- Simulasi: Menjalankan simulasi dengan menggunakan perangkat lunak Python untuk mengimplementasikan kedua metode, menggunakan data yang telah dipra-proses.
- Analisis Hasil: Menganalisis hasil simulasi untuk melihat distribusi beban optimal yang dihasilkan oleh masing-masing metode.
- Perbandingan Hasil: Membandingkan hasil distribusi beban dan biaya operasional yang diperoleh dari kedua metode untuk mengevaluasi efisiensi dan efektivitas masing-masing metode.

#### 5. Interpretasi dan Penyusunan Laporan

Langkah terakhir adalah interpretasi hasil dan penyusunan laporan penelitian. Langkah-langkah ini meliputi menginterpretasikan hasil analisis untuk menjawab rumusan masalah yang telah ditetapkan, menyusun laporan penelitian yang mencakup latar belakang, metodologi, hasil, dan pembahasan, serta kesimpulan dan rekomendasi, dan menyusun presentasi hasil penelitian untuk dipresentasikan kepada pihak-pihak terkait, seperti dosen pembimbing, institusi penelitian, dan pihak PLTU Tanjung Jati B.

Dengan mengikuti langkah-langkah penelitian yang sistematis dan terstruktur ini, diharapkan penelitian dapat menghasilkan data yang akurat dan dapat diandalkan, serta memberikan wawasan yang berguna bagi pengelolaan operasional PLTU Tanjung Jati B.

## BAB IV

### HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN

#### 4.1 Hasil Simulasi *Economic Dispatch* (ED)

Pada bab ini, hasil penelitian yang diperoleh dari simulasi *Economic Dispatch* (ED) menggunakan dua metode optimasi, yaitu Metode *Lagrange* dan *Particle Swarm Optimization* (PSO), akan dipaparkan secara rinci. Kedua metode tersebut diterapkan pada Pembangkit Listrik Tenaga Uap (PLTU) Tanjung Jati B untuk menganalisis dan membandingkan efisiensi biaya operasionalnya. Bagian ini akan membahas hasil implementasi dari masing-masing metode, di mana akan ditunjukkan bagaimana daya beban dialokasikan serta biaya operasional yang dihasilkan dari penerapan metode tersebut.

Karakteristik input-output unit PLTU didapat dari pengolahan data *hestrate* masing-masing pembangkit, serta data *performance test* yang berisikan data harga bahan bakar, nilai kalor, dan beban unit. dalam mencari fungsi polinomial, digunakan 4 kondisi pembebanan dari 4 titik pembebanan saat *performance test* yaitu berdasarkan pendekatan polinomial orde 2 yang dilakukan pada masing-masing unit.

Adapun proses pengolahannya dapat dilihat pada gambar 4.1 dan 4.2. Proses tersebut dilakukan menggunakan bantuan aplikasi Microsoft Excel untuk menentukan fungsi polinomial orde 2 pada grafik hasil pembebanan.

Dari proses pengolahan tersebut kemudian didapat Fungsi Biaya masing-masing unit seperti pada Tabel 4.1

**Tabel 4.1** Karakteristik dan Fungsi Biaya masing-masing unit

No	Unit Pembangkit	$P_{min}$	$P_{max}$	Fungsi Biaya (Rp/jam)
1	PLTU TJB 1	330	660	$F_1(P_1) = 0,53P_1^2 - 168,08P_1 + 191.565,64$
2	PLTU TJB 2	330	660	$F_2(P_2) = 0,53P_2^2 - 168,08P_2 + 191.565,64$
3	PLTU TJB 3	330	660	$F_3(P_3) = 0,49P_3^2 - 138,59P_3 + 168.744,82$
4	PLTU TJB 4	330	660	$F_4(P_4) = 0,49P_4^2 - 138,59P_4 + 168.744,82$

Dengan menggunakan Fungsi Biaya tersebut sesuai dengan persamaan (2.6) selanjut kita dapat menghitung total *cost* tiap periode pembebanan seperti pada pembebanan sebagai contoh untuk perhitungan pada periode 1 Desember 2023 pukul 10:30 berikut

Biaya Riil unit 1:

$$F_1(P_1)(Riil) = 0,53(605)^2 - 168,08(605) + 191.565,64$$

$$F_1(P_1)(Riil) \approx 283.918$$

Biaya Riil unit 2:

$$F_2(P_2)(Riil) = 0,53(602)^2 - 168,09(602) + 194.191,31$$

$$F_2(P_2)(Riil) \approx 282.644$$

Biaya Riil unit 3:

$$F_3(P_3)(Riil) = 0,49(600)^2 - 138,59(600) + 168.744,82$$

$$F_3(P_3)(Riil) \approx 261.811$$

Biaya Riil unit 4:

$$F_4(P_4)(Riil) = 0,49(594)^2 - 138,59(594) + 168.744,82$$

$$F_4(P_4)(Riil) \approx 259.312$$

Total Biaya pembebanan Periode 1 Desember 2023 pukul 10:30:

$$F_T(P_T)(Riil) = 283.918 + 282.644 + 261.811 + 259.312 \\ \approx 1.087.685$$

Dengan Langkah-langkah diatas maka dapat dihitung setiap total cost pada tiap periode seperti Tabel 4.2.

**Tabel 4.2** Data riil Beban PLTU Tanjung Jati B Periode 1 Desember 2023

Tanggal	Daya Unit 1 (MW)	Daya Unit 2 (MW)	Daya Unit 3 (MW)	Daya Unit 4 (MW)	Total Cost (Rp)
01/12/2023 10:30	605	602	600	594	Rp 1.087.685
01/12/2023 11:00	601	607	601	596	Rp 1.089.026
01/12/2023 11:30	595	604	601	594	Rp 1.084.392
01/12/2023 12:00	596	607	572	561	Rp 1.059.376
01/12/2023 12:30	599	608	553	546	Rp 1.047.321
01/12/2023 13:00	599	605	584	564	Rp 1.066.172
01/12/2023 13:30	605	603	603	594	Rp 1.089.267
01/12/2023 14:00	601	605	603	592	Rp 1.088.230
01/12/2023 14:30	601	605	603	595	Rp 1.088.833
01/12/2023 15:00	600	605	603	594	Rp 1.087.800
01/12/2023 15:30	601	606	604	594	Rp 1.089.438
01/12/2023 16:00	604	607	603	594	Rp 1.090.971
01/12/2023 16:30	604	606	603	594	Rp 1.090.864
01/12/2023 17:00	604	607	603	595	Rp 1.091.553
01/12/2023 17:30	598	605	602	595	Rp 1.086.953
01/12/2023 18:00	595	602	601	594	Rp 1.083.267
01/12/2023 18:30	591	599	601	593	Rp 1.079.513
01/12/2023 19:00	588	596	602	593	Rp 1.077.257

01/12/2023 19:30	593	609	602	593	Rp 1.085.515
01/12/2023 20:00	596	607	591	583	Rp 1.076.665
01/12/2023 20:30	598	607	553	543	Rp 1.045.334
01/12/2023 21:00	594	600	554	545	Rp 1.041.310
01/12/2023 21:30	601	602	554	546	Rp 1.046.043
01/12/2023 22:00	607	608	554	548	Rp 1.052.443
01/12/2023 22:30	604	607	554	549	Rp 1.051.204
01/12/2023 23:00	599	606	554	549	Rp 1.047.733
01/12/2023 23:30	603	604	553	549	Rp 1.048.876

#### 4.1.1 Implementasi Metode Lagrange

Metode *Lagrange* adalah salah satu metode optimasi yang digunakan untuk menyelesaikan masalah alokasi daya pada *Economic Dispatch* (ED). Pada bagian ini, implementasi Metode *Lagrange* diterapkan untuk menentukan alokasi daya yang optimal pada PLTU Tanjung Jati B dengan tujuan meminimalkan biaya operasional.

Data permintaan beban harian yang digunakan dalam simulasi ditunjukkan pada Tabel 4.1. Berdasarkan data tersebut, dipilih data pembebanan riil yang dilakukan pada PLTU Tanjung Jati B pada tanggal 1 Desember 2023 pukul 10:30

Persamaan *Lagrange* ini diselesaikan dengan menghitung turunan parsial persamaan fungsi biaya dari persamaan (2.5) terhadap masing-masing  $P_i$  dan  $\lambda$  dan menyamakan hasilnya dengan nol:

Turunan parsial  $P_i$  Unit 1 dan 2:

$$\frac{\partial \mathcal{L}}{\partial P_{1,2}} = 1,06P_{1,2} - 168,08 - \lambda = 0 \dots\dots\dots (4.1)$$

Turunan parsial  $P_i$  Unit 3 dan 4:

$$\frac{\partial \mathcal{L}}{\partial P_{3,4}} = 0,98P_{3,4} - 138,59 - \lambda = 0 \dots\dots\dots (4.2)$$

Dan untuk mengetahui apakah total nilai  $P_i = P_D$  dapat dihitung berdasarkan turunan parsial  $\lambda$  sesuai persamaan (2.8)

Kemudian setelah itu dari persamaan (4.1) dan (4.2), kita dapat menyelesaikannya untuk mendapatkan nilai  $P_i$  untuk masing-masing unit 1-2 dan unit 3-4 sebagai berikut:

$P_i$  unit 1 dan 2:

$$P_{1,2} = \frac{\lambda + 168,08}{1,06} \dots\dots\dots (4.3)$$

$P_i$  unit 3 dan 4:

$$P_{3,4} = \frac{\lambda + 138,59}{0,98} \dots\dots\dots (4.4)$$

Substitusikan rumus untuk nilai  $P_i$  masing-masing unit dari persamaan (4.3) dan persamaan (4.4) ke persamaan (2.8):

$$2 \times \left( \frac{\lambda + 168,08}{1,06} \right) + 2 \left( \frac{\lambda + 138,59}{0,98} \right) = P_D \dots\dots\dots (4.5)$$

Menyederhanakan persamaan (4.5), kita dapat mencari nilai  $\lambda$ :

Selanjutnya, kita bandingkan hasil alokasi daya menggunakan Metode *Lagrange* dengan pembebanan riil yang dilakukan pada tanggal 1 Desember 2023 pukul 10:30:

Untuk menghitung alokasi daya optimal menggunakan Metode *Lagrange*, kita akan mengikuti langkah-langkah yang telah disebutkan. Pertama, kita hitung nilai  $\lambda$  menggunakan data permintaan beban pada 1 Desember 2023 pukul 10:30, yaitu:

$$P_D = 605 + 602 + 600 + 594 = 2401 \text{ MW}$$

Kita mulai dengan menyusun persamaan dari Metode *Lagrange*:

1. Turunan parsial dari fungsi *Lagrange* terhadap  $P_i$  dapat dilihat pada persamaan 4.6 dan 4.7
2. Turunan parsial dari fungsi *Lagrange* terhadap  $\lambda$  dapat dilihat pada persamaan 4.8.

Menghitung persamaan nilai  $P_i$  unit 1,2,3, dan 4 yang di substitusi ke persamaan 4.5

$$2 \times \left( \frac{\lambda + 168,08}{1,06} \right) + 2 \left( \frac{\lambda + 138,59}{0,98} \right) = 2401 \dots\dots\dots (4.6)$$

Simplifikasi

$$(1,8868 + 2,0408)\lambda + (316,91 + 282,56) = 2401$$

$$3,9276\lambda + 599,47 = 2401$$

$$\lambda \approx 458,71$$

Setelah mendapatkan nilai  $\lambda$ , hitung kembali  $P_i$  masing masing unit, dimana untuk unit 1 dan 2:

$$P_{1,2} = \frac{458,71 + 168,08}{1,06}$$

$$P_{1,2} \approx 591 \text{ MW}$$

Adapun unit 3 dan 4:

$$P_{3,4} = \frac{458,71 + 138,59}{0,98}$$

$$P_{3,4} \approx 609 \text{ MW}$$

Jadi, alokasi daya optimal untuk masing-masing unit PLTU adalah sekitar 591 MW untuk unit 1 dan 2 dan 609 MW untuk unit 3 dan 4 serta untuk menghitung biaya operasional, kita gunakan fungsi biaya yang telah diberikan.

Hitung biaya optimal metode *Lagrange* sesuai dengan persamaan (2.6) per satu unit dan kemudian jumlahkan semua hasilnya untuk mendapatkan total biaya optimal metode *Lagrange*.

Biaya Optimal unit 1 dan 2:

$$F_{1,2}(P_{1,2}) = 0,53(591)^2 - 168,08(591) + 194.565,54$$

$$F_1(P_2) \approx 280.437$$

Biaya Optimal unit 3 dan 4:

$$F_{3,4}(P_{3,4}) = 0,49(609)^2 - 138,75(609) + 168.744,82$$

$$F_3(P_4) \approx 266.241$$

Total Biaya Optimal:

$$F_T(P_T) = (2 \times 280.437) + 266.241 + 266.238 \quad (4.1)$$

$$\approx 1.093.353$$

Sekarang, kita hitung seluruh total biaya optimal pada tanggal 1 Desember 2023 Pukul 10.30 hingga 23.30 dengan menggunakan pemrograman python untuk memudahkan proses perhitungan. Adapun hasil perhitungannya dapat dilihat pada tabel berikut:

**Tabel 4.3** Hasil Optimasi Beban dan Biaya Total Metode *Lagrange*

Tanggal	Daya Unit 1 (MW)	Daya Unit 2 (MW)	Daya Unit 3 (MW)	Daya Unit 4 (MW)	Total Cost (Rp)
01/12/2023 10:30	591	591	609	609	Rp 1.093.353
01/12/2023 11:00	592	592	610	610	Rp 1.094.730
01/12/2023 11:30	590	590	608	608	Rp 1.090.149
01/12/2023 12:00	575	575	592	592	Rp 1.063.906
01/12/2023 12:30	568	568	585	585	Rp 1.050.763
01/12/2023 13:00	579	579	597	597	Rp 1.071.010
01/12/2023 13:30	592	592	610	610	Rp 1.094.960
01/12/2023 14:00	591	591	610	610	Rp 1.093.904
01/12/2023 14:30	592	592	610	610	Rp 1.094.546
01/12/2023 15:00	591	591	609	609	Rp 1.093.537
01/12/2023 15:30	592	592	610	610	Rp 1.095.143
01/12/2023 16:00	593	593	611	611	Rp 1.096.615
01/12/2023 16:30	593	593	611	611	Rp 1.096.523

01/12/2023 17:00	593	593	612	612	Rp 1.097.214
01/12/2023 17:30	591	591	609	609	Rp 1.092.711
01/12/2023 18:00	589	589	607	607	Rp 1.089.054
01/12/2023 18:30	587	587	605	605	Rp 1.085.367
01/12/2023 19:00	586	586	604	604	Rp 1.083.145
01/12/2023 19:30	590	590	608	608	Rp 1.091.201
01/12/2023 20:00	585	585	603	603	Rp 1.082.104
01/12/2023 20:30	567	567	583	583	Rp 1.048.725
01/12/2023 21:00	565	565	581	581	Rp 1.045.225
01/12/2023 21:30	568	568	584	584	Rp 1.049.678
01/12/2023 22:00	571	571	588	588	Rp 1.055.730
01/12/2023 22:30	570	570	587	587	Rp 1.054.638
01/12/2023 23:00	569	569	585	585	Rp 1.051.371
01/12/2023 23:30	569	569	586	586	Rp 1.052.415

#### 4.1.2 Implementasi Metode *Particle Swarm Optimization* (PSO)

Pada bagian ini, dibahas implementasi metode *Particle Swarm Optimization* (PSO) yang digunakan untuk menyelesaikan masalah *Economic Dispatch* (ED) pada PLTU Tanjung Jati B. Metode ini bertujuan untuk mengoptimalkan alokasi daya pembangkit guna meminimalkan biaya operasional. Implementasi PSO dilakukan dengan menggunakan bahasa pemrograman Python. Langkah-langkah implementasi PSO untuk *Economic Dispatch* akan dijelaskan secara rinci sebagai berikut:

##### 1. Inisialisasi Parameter PSO

Pertama, parameter PSO yang akan digunakan dalam algoritma didefinisikan sebagai berikut:

```

24 # Parameter PSO
25 num_particles = 30
26 num_iterations = 100
27 w = 0.5 # Inertia weight
28 c1 = 2.0 # Cognitive parameter
29 c2 = 2.0 # Social parameter

```

**Gambar 4.1** Inisialisasi Parameter PSO pada program python

- `num_particles = 30`: Jumlah partikel dalam swarm.
- `num_iterations = 100`: Jumlah iterasi yang akan dijalankan algoritma.
- `w = 0.5`: *Inertia weight*, yang mengatur kontribusi kecepatan partikel sebelumnya terhadap kecepatan saat ini.
- `c1 = 2.0`: Koefisien kognitif, yang mengatur pengaruh pengalaman partikel terhadap pergerakannya.
- `c2 = 2.0`: Koefisien sosial, yang mengatur pengaruh pengalaman *Swarm* terhadap pergerakan partikel.

## 2. Inisialisasi Partikel

Setiap partikel dalam *Swarm* merepresentasikan solusi potensial untuk masalah ED. Setiap partikel diinisialisasi dengan posisi dan kecepatan acak dalam batasan yang diberikan (`P_min` dan `P_max` untuk setiap unit pembangkit).

```

12 # Batas daya masing-masing unit
13 P_min = [330, 330, 330, 330]
14 P_max = [660, 660, 660, 660]

```

**Gambar 4.2** Inisialisasi Partikel PSO pada program python

## 3. Evaluasi Fitness

Fitness dari setiap partikel dihitung berdasarkan fungsi biaya total dari sistem pembangkit. Fungsi biaya yang digunakan dari persamaan

(2.6) dihitung sebagai jumlah dari fungsi biaya setiap unit pembangkit. Misalnya, untuk unit 1&2:

$$F_{1,2}(P_{1,2}) = 0,53P_{12}^2 - 168,08P_{12} + 194.565,54$$

Untuk unit 3 dan 4:

$$F_{3,4}(P_{3,4}) = 0,49P_{34}^2 - 138,59P_{34} + 168.744,82$$

#### 4. Pembaruan Kecepatan dan Posisi Partikel

Kecepatan dan posisi setiap partikel dapat diinisialisasi dengan menggunakan program python seperti pada gambar dibawah ini.

```
46 for P_load in P_loads:
47     # inisialisasi posisi dan kecepatan partikel
48     positions = np.random.uniform(P_min, P_max, (num_particles, 4))
49     velocities = np.zeros((num_particles, 4))
50
```

**Gambar 4.3** Inisialisasi kecepatan dan posisi partikel pada program python

#### 5. Pembaruan Posisi Terbaik

Jika posisi baru partikel menghasilkan nilai fitness yang lebih baik daripada posisi terbaik individu sebelumnya, maka posisi tersebut diperbarui. Jika nilai fitness dari posisi baru partikel juga lebih baik daripada posisi terbaik global, maka posisi terbaik global juga diperbarui.

```
51 # Inisialisasi pbest dan gbest
52 pbest_positions = positions.copy()
53 pbest_costs = np.array([np.inf] * num_particles)
54 gbest_position = positions[0].copy()
55 gbest_cost = np.inf
```

**Gambar 4.4** Inisialisasi posisi terbaik pada program python

## 6. Iterasi

Langkah-langkah di atas diulangi selama jumlah iterasi yang ditentukan (`num_iterations`) yang ada pada program seperti pada gambar 4.3. Setelah iterasi selesai, posisi terbaik global (`g_best`) dianggap sebagai solusi optimal untuk masalah ED.

```

57 # PSO main loop
58 for iteration in range(num_iterations):
59     for i in range(num_particles):
60         # Evaluasi fitness biaya
61         cost = cost_function(positions[i])
62         if cost < pbest_costs[i] and check_constraints(positions[i], P_load):
63             pbest_costs[i] = cost
64             pbest_positions[i] = positions[i].copy()
65         if cost < gbest_cost and check_constraints(positions[i], P_load):
66             gbest_cost = cost
67             gbest_position = positions[i].copy()
68
69         # Update kecepatan dan posisi
70         for i in range(num_particles):
71             r1, r2 = np.random.rand(2)
72             velocities[i] = (w * velocities[i] +
73                             c1 * r1 * (pbest_positions[i] - positions[i]) +
74                             c2 * r2 * (gbest_position - positions[i]))
75             positions[i] += velocities[i]
76
77         # Pastikan posisi berada dalam batas
78         positions[i] = np.clip(positions[i], P_min, P_max)

```

Gambar 4.5 Proses iterasi pada program python

Hasil optimal alokasi daya dan biaya total untuk setiap periode waktu dihitung menggunakan metode PSO kemudian dapat dilihat pada Tabel 4.4.

**Tabel 4.4** Hasil Optimasi Beban dan Biaya Total Metode PSO

Tanggal	Daya Unit 1 (MW)	Daya Unit 2 (MW)	Daya Unit 3 (MW)	Daya Unit 4 (MW)	Total Cost (Rp)
2023-12-01 10:30	454	644	572	528	Rp 1.014.980
2023-12-01 11:00	347	368	331	660	Rp 871.709
2023-12-01 11:30	364	347	612	636	Rp 950.166
2023-12-01 12:00	334	538	448	365	Rp 843.611
2023-12-01 12:30	632	406	415	449	Rp 914.789
2023-12-01 13:00	489	632	591	451	Rp 1.002.819
2023-12-01 13:30	559	441	536	410	Rp 919.461
2023-12-01 14:00	350	633	583	523	Rp 986.103
2023-12-01 14:30	518	457	549	550	Rp 959.315
2023-12-01 15:00	586	573	451	507	Rp 980.558
2023-12-01 15:30	454	539	471	346	Rp 876.978
2023-12-01 16:00	343	634	397	592	Rp 949.593
2023-12-01 16:30	494	383	451	614	Rp 922.846
2023-12-01 17:00	548	499	603	345	Rp 946.685
2023-12-01 17:30	343	393	370	438	Rp 796.317
2023-12-01 18:00	501	501	660	605	Rp 1.041.594
2023-12-01 18:30	614	546	574	606	Rp 1.067.439
2023-12-01 19:00	361	458	340	501	Rp 832.023
2023-12-01 19:30	507	351	370	495	Rp 851.313
2023-12-01 20:00	558	365	641	459	Rp 959.045
2023-12-01 20:30	380	602	342	650	Rp 957.011
2023-12-01 21:00	378	464	645	469	Rp 932.243
2023-12-01 21:30	402	412	430	649	Rp 913.041
2023-12-01 22:00	376	489	335	624	Rp 895.640
2023-12-01 22:30	550	523	385	535	Rp 937.374
2023-12-01 23:00	512	350	658	549	Rp 978.285
2023-12-01 23:30	486	622	548	608	Rp 1.038.578

## 4.2 Analisis Perbandingan Hasil

Analisis perbandingan hasil antara metode *Lagrange* dan *Particle Swarm Optimization* (PSO) merupakan tahap krusial dalam penelitian ini. Pada bagian ini, akan dilakukan evaluasi terhadap distribusi optimal beban dan biaya operasional yang dihasilkan oleh kedua metode tersebut. Selain itu, perbandingan akan dilakukan dengan mempertimbangkan data pembebanan riil yang diamati pada PLTU Tanjung Jati B pada tanggal 1 Desember 2023. Hal ini bertujuan untuk mengukur keefektifan dan keakuratan kedua metode dalam mengoptimalkan alokasi daya, serta membandingkannya dengan kondisi operasional aktual. Analisis ini diharapkan dapat memberikan wawasan yang mendalam mengenai performa relatif dari masing-masing metode dalam konteks aplikasi pada sistem pembangkit tenaga.

### 4.2.1. Perbandingan Distribusi Optimal Beban

Distribusi optimal beban merupakan hasil utama dari proses *Economic Dispatch* (ED), yang menentukan alokasi daya yang optimal untuk setiap unit pembangkit dengan tujuan meminimalkan biaya operasional. Dalam penelitian ini, peneliti membandingkan distribusi optimal beban yang dihasilkan oleh Metode *Lagrange*, Metode *Particle Swarm Optimization* (PSO), dan membandingkannya dengan data pembebanan riil yang tercatat pada PLTU Tanjung Jati B pada tanggal 1 Desember 2023.

Untuk menganalisis perbandingan distribusi beban setiap unit antara metode *Lagrange*, metode PSO, dan beban riil pada PLTU Tanjung Jati B, kita dapat melihat perbedaan serta kemiripan dalam alokasi daya yang dihasilkan oleh kedua metode optimasi dan perbandingannya dengan kondisi riil yang terjadi.

Tabel 4.5 Perbandingan Distribusi Beban Unit 1

Tanggal	P1 (MW) <i>Lagrange</i>	P1 (MW) PSO	P1 (MW) Riil
01/12/2023 10:30	591	454	605
01/12/2023 11:00	592	347	601
01/12/2023 11:30	590	364	595
01/12/2023 12:00	575	334	596
01/12/2023 12:30	568	632	599
01/12/2023 13:00	579	489	599
01/12/2023 13:30	592	559	605
01/12/2023 14:00	591	350	601
01/12/2023 14:30	592	518	601
01/12/2023 15:00	591	586	600
01/12/2023 15:30	592	454	602
01/12/2023 16:00	593	343	604
01/12/2023 16:30	593	494	604
01/12/2023 17:00	593	548	605
01/12/2023 17:30	591	343	598
01/12/2023 18:00	589	501	595
01/12/2023 18:30	587	614	591
01/12/2023 19:00	586	361	588
01/12/2023 19:30	590	507	593
01/12/2023 20:00	585	558	596
01/12/2023 20:30	567	380	598
01/12/2023 21:00	565	378	594
01/12/2023 21:30	568	402	601
01/12/2023 22:00	571	376	607
01/12/2023 22:30	570	550	604
01/12/2023 23:00	569	512	599
01/12/2023 23:30	569	486	604



**Gambar 4.6** Grafik Perbandingan Distribusi beban Unit 1

Berdasarkan tabel 4.5 dan gambar 4.8, analisis perbandingan distribusi beban Unit 1 antara metode *Lagrange*, metode PSO, dan beban riil pada PLTU Tanjung Jati B, terdapat beberapa temuan penting terkait konsistensi, ketepatan, dan kualitas solusi yang dihasilkan oleh kedua metode optimasi dibandingkan dengan kondisi riil. Metode *Lagrange* cenderung memberikan distribusi beban yang konsisten dengan nilai yang relatif tinggi. Sebaliknya, metode PSO menunjukkan variasi yang lebih dinamis dalam distribusi beban. Secara umum, PSO mampu menghasilkan alokasi daya yang lebih terdiversifikasi di sepanjang periode, dengan kecenderungan untuk menyesuaikan daya secara lebih dinamis terhadap perubahan permintaan atau kondisi operasional yang berubah. Hal ini terlihat dari fluktuasi beban yang lebih signifikan pada beberapa titik waktu tertentu.

Beban riil, yang merupakan data operasional sebenarnya dari PLTU Tanjung Jati B, memberikan gambaran tentang bagaimana alokasi daya seharusnya terjadi secara praktis. Perbandingan dengan hasil simulasi (*Lagrange* dan PSO) menunjukkan bahwa meskipun terdapat variasi. Evaluasi lebih lanjut mengenai kualitas solusi optimal menunjukkan bahwa metode PSO memiliki

kecenderungan untuk memberikan solusi yang lebih adaptif terhadap kondisi dinamis dan mungkin lebih mendekati kondisi riil dibandingkan dengan *Lagrange*. Hal ini terutama terlihat pada titik waktu tertentu di mana PSO lebih responsif terhadap fluktuasi permintaan atau kondisi operasional yang tidak terduga. Dari sudut pandang efisiensi dan performa sistem, distribusi beban yang lebih optimal dari segi teknis, seperti yang dihasilkan oleh PSO yang lebih adaptif, cenderung berpotensi menghasilkan biaya operasional yang lebih rendah, asalkan konsistensi dan stabilitas operasional tetap terjaga.

**Tabel 4.6** Perbandingan Distribusi Beban Unit 2

Tanggal	P2 (MW) <i>Lagrange</i>	P2 (MW) PSO	P2 (MW) Riil
01/12/2023 10:30	591	644	602
01/12/2023 11:00	592	368	607
01/12/2023 11:30	590	347	604
01/12/2023 12:00	575	538	607
01/12/2023 12:30	568	406	608
01/12/2023 13:00	579	632	605
01/12/2023 13:30	592	441	603
01/12/2023 14:00	591	633	606
01/12/2023 14:30	592	457	605
01/12/2023 15:00	591	573	605
01/12/2023 15:30	592	539	606
01/12/2023 16:00	593	634	607
01/12/2023 16:30	593	383	606
01/12/2023 17:00	593	499	607
01/12/2023 17:30	591	393	605
01/12/2023 18:00	589	501	602
01/12/2023 18:30	587	546	599
01/12/2023 19:00	586	458	596
01/12/2023 19:30	590	351	609
01/12/2023 20:00	585	365	607
01/12/2023 20:30	567	602	607
01/12/2023 21:00	565	464	600
01/12/2023 21:30	568	412	602

01/12/2023 22:00	571	489	608
01/12/2023 22:30	570	523	607
01/12/2023 23:00	569	350	606
01/12/2023 23:30	569	622	604



**Gambar 4.7** Grafik Perbandingan Distribusi beban Unit 2

Berdasarkan tabel 4.6 dan gambar 4.9, perbandingan distribusi beban Unit 2 antara metode *Lagrange*, metode PSO, dan beban riil pada PLTU Tanjung Jati B, terdapat perbedaan signifikan yang mencerminkan bagaimana masing-masing metode menangani optimasi beban dalam kondisi operasional yang berbeda. Metode *Lagrange* cenderung menghasilkan distribusi beban yang konsisten dan relatif tinggi. Distribusi beban Unit 2 dengan metode ini menunjukkan sedikit fluktuasi, dengan beban yang cenderung stabil di sekitar nilai 565 MW hingga 593 MW sepanjang hari. Stabilitas ini mencerminkan keandalan metode *Lagrange* dalam menjaga beban dalam batas yang telah dioptimalkan, meskipun hal ini mungkin tidak selalu mencerminkan kondisi operasional yang dinamis.

Sebaliknya, metode PSO menunjukkan variasi yang lebih besar dalam distribusi beban Unit 2. Misalnya, pada pukul 10:30 dan 14:00, PSO

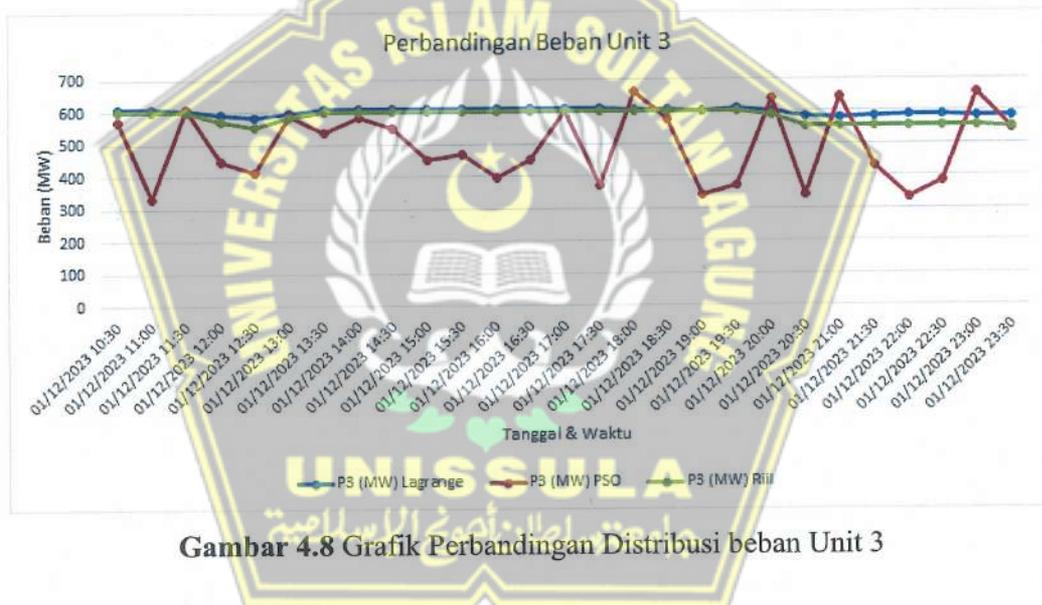
menghasilkan beban yang sangat tinggi, yaitu 644 MW dan 633 MW, sementara pada beberapa titik waktu lainnya, seperti pukul 11:00 dan 11:30, beban yang dihasilkan turun drastis menjadi 368 MW dan 347 MW. Hal ini menunjukkan bahwa PSO lebih responsif terhadap perubahan dan lebih fleksibel dalam menyesuaikan beban dengan kondisi operasional yang dinamis.

Beban riil, yang mencerminkan data operasional sebenarnya, berada di antara hasil dari kedua metode optimasi tersebut. Beban riil menunjukkan distribusi yang lebih stabil dibandingkan dengan metode PSO dan menunjukkan data yang sama stabil dengan metode *Lagrange*. Misalnya, pada pukul 10:30 dan 11:00, beban riil adalah 602 MW dan 607 MW, lebih dekat ke hasil *Lagrange* daripada PSO. Namun, pada pukul 16:00 dan 16:30, beban riil menunjukkan stabilitas yang lebih besar dibandingkan dengan hasil dari kedua metode optimasi.

**Tabel 4.7** Perbandingan Distribusi Beban Unit 3

Tanggal	P3 (MW) <i>Lagrange</i>	P3 (MW) PSO	P3 (MW) Riil
01/12/2023 10:30	609	572	600
01/12/2023 11:00	610	331	601
01/12/2023 11:30	608	612	601
01/12/2023 12:00	592	448	572
01/12/2023 12:30	585	415	553
01/12/2023 13:00	597	591	584
01/12/2023 13:30	610	536	603
01/12/2023 14:00	610	583	603
01/12/2023 14:30	610	549	603
01/12/2023 15:00	609	451	603
01/12/2023 15:30	610	471	604
01/12/2023 16:00	611	397	603
01/12/2023 16:30	611	451	603
01/12/2023 17:00	612	603	603
01/12/2023 17:30	609	370	602
01/12/2023 18:00	607	660	601

01/12/2023 18:30	605	574	601
01/12/2023 19:00	604	340	602
01/12/2023 19:30	608	370	602
01/12/2023 20:00	603	641	591
01/12/2023 20:30	583	342	553
01/12/2023 21:00	581	645	554
01/12/2023 21:30	584	430	554
01/12/2023 22:00	588	335	555
01/12/2023 22:30	587	385	554
01/12/2023 23:00	585	658	554
01/12/2023 23:30	586	548	553



**Gambar 4.8** Grafik Perbandingan Distribusi beban Unit 3

Berdasarkan tabel 4.7 dan gambar 410, perbandingan distribusi beban Unit 3 antara metode *Lagrange*, metode PSO, dan beban riil pada PLTU Tanjung Jati B, terlihat beberapa perbedaan signifikan dalam hasil yang dihasilkan oleh setiap metode.

Metode *Lagrange* cenderung memberikan hasil distribusi beban yang tinggi dan konsisten. Misalnya, nilai beban yang dihasilkan berkisar antara 585 MW hingga 610 MW, dengan variasi yang relatif kecil di sepanjang hari. Hal ini

menunjukkan stabilitas yang tinggi dalam pendekatan metode *Lagrange*. Beban yang stabil ini sangat penting dalam operasi pembangkit listrik karena dapat membantu menjaga kestabilan jaringan listrik dan memastikan ketersediaan daya yang memadai.

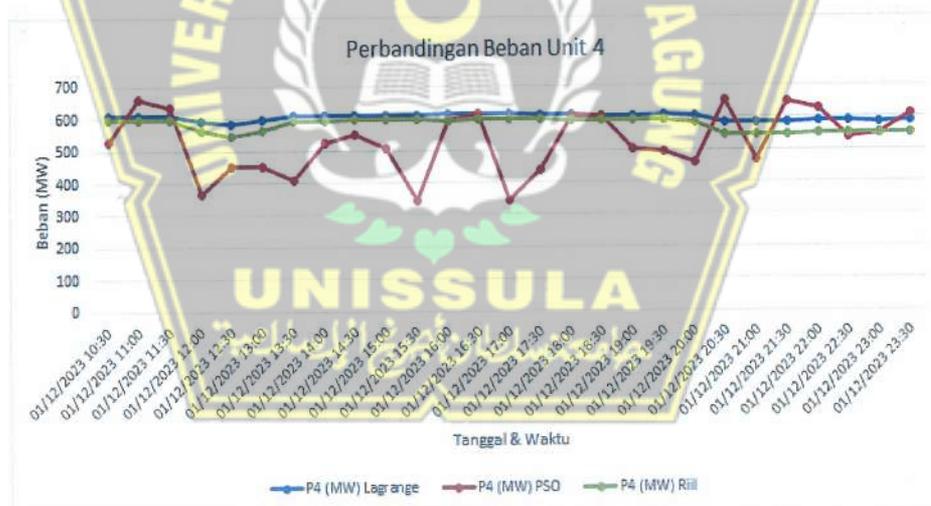
Sebaliknya, metode PSO menunjukkan variasi yang lebih besar dalam distribusi beban. Contohnya, pada pukul 11:00, PSO menghasilkan beban 331 MW, sementara pada pukul 18:00, beban meningkat tajam menjadi 660 MW. Variasi ini menunjukkan bahwa metode PSO lebih adaptif dan responsif terhadap perubahan kondisi operasional. Meskipun variasi ini dapat membantu menyesuaikan beban dengan permintaan yang berubah-ubah, ini juga dapat menimbulkan tantangan dalam menjaga kestabilan operasional pembangkit.

Beban riil, yang mencerminkan data operasional sebenarnya, berada di antara hasil dari kedua metode optimasi tersebut. Misalnya, pada pukul 10:30, beban riil adalah 600 MW, lebih rendah dibandingkan hasil metode *Lagrange* (609 MW) namun lebih tinggi dari hasil metode PSO (572 MW). Namun, pada pukul 11:00, beban riil (601 MW) lebih dekat dengan hasil metode *Lagrange* (610 MW) dibandingkan dengan PSO (331 MW).

Tabel 4.8 Perbandingan Distribusi Beban Unit 4

Tanggal	P4 (MW) <i>Lagrange</i>	P4 (MW) PSO	P4 (MW) Riil
01/12/2023 10:30	609	528	594
01/12/2023 11:00	610	660	596
01/12/2023 11:30	608	636	594
01/12/2023 12:00	592	365	561
01/12/2023 12:30	585	449	546
01/12/2023 13:00	597	451	564
01/12/2023 13:30	610	410	594
01/12/2023 14:00	610	523	592
01/12/2023 14:30	610	550	595
01/12/2023 15:00	609	507	594
01/12/2023 15:30	610	346	594

01/12/2023 16:00	611	592	594
01/12/2023 16:30	611	614	594
01/12/2023 17:00	612	345	595
01/12/2023 17:30	609	438	595
01/12/2023 18:00	607	605	594
01/12/2023 18:30	605	606	594
01/12/2023 19:00	604	501	593
01/12/2023 19:30	608	495	593
01/12/2023 20:00	603	459	583
01/12/2023 20:30	583	650	543
01/12/2023 21:00	581	469	545
01/12/2023 21:30	584	649	546
01/12/2023 22:00	588	624	548
01/12/2023 22:30	587	535	549
01/12/2023 23:00	585	549	549
01/12/2023 23:30	586	608	549



**Gambar 4.9** Grafik Perbandingan Distribusi beban Unit 4

Berdasarkan tabel 4.8 dan gambar 4.11, Analisis perbandingan distribusi beban Unit 4 antara metode *Lagrange*, metode PSO, dan beban riil pada PLTU Tanjung Jati B menunjukkan variasi yang signifikan dalam hasil yang dihasilkan oleh masing-masing metode.

Metode *Lagrange* cenderung memberikan hasil distribusi beban yang stabil dan konsisten. Sebagian besar nilai beban yang dihasilkan oleh metode *Lagrange* berkisar antara 585 MW hingga 611 MW. Stabilitas ini mencerminkan pendekatan konservatif dari metode *Lagrange*, yang menjaga distribusi beban tetap dalam rentang yang relatif sempit sepanjang waktu. Misalnya, pada pukul 10:30 beban *Lagrange* adalah 609 MW, dan pada pukul 18:30 adalah 605 MW, dengan hanya sedikit fluktuasi di antara waktu-waktu tersebut.

Sebaliknya, metode PSO menunjukkan variasi yang lebih besar dalam distribusi beban. Beban yang dihasilkan oleh metode PSO berkisar dari nilai rendah 345 MW pada pukul 17:00 hingga nilai tinggi 660 MW pada pukul 11:00. Variasi yang besar ini menunjukkan bahwa PSO lebih responsif terhadap perubahan kondisi operasional dan permintaan listrik, meskipun ini juga dapat menantang dalam hal kestabilan operasional pembangkit. Misalnya, pada pukul 12:00 PSO menghasilkan beban 365 MW, yang jauh lebih rendah dibandingkan metode *Lagrange* yang menghasilkan 592 MW dan beban riil yang 561 MW pada waktu yang sama.

Beban riil, yang mencerminkan data operasional sebenarnya, menunjukkan hasil yang cenderung lebih fluktuatif dibandingkan dengan hasil metode *Lagrange* namun lebih stabil dibandingkan dengan metode PSO. Beban riil berkisar antara 543 MW hingga 595 MW. Misalnya, pada pukul 10:30 beban riil adalah 594 MW, lebih rendah dibandingkan metode *Lagrange* (609 MW) namun lebih tinggi dari hasil PSO (528 MW). Pada pukul 18:00, beban riil (594 MW) lebih dekat dengan hasil metode *Lagrange* (607 MW) dibandingkan dengan PSO (605 MW).

Selanjutnya, setelah analisis tiap unit kemudian dilakukan analisis untuk beban total yang didapatkan oleh tiap metode.

Tabel 4.9 Perbandingan Distribusi Beban Total

Tanggal	P Total (MW) <i>Lagrange</i>	P Total (MW) PSO	P Total (MW) Riil
01/12/2023 10:30	2.401	2.196	2.401
01/12/2023 11:00	2.404	1.706	2.404
01/12/2023 11:30	2.394	1.960	2.394
01/12/2023 12:00	2.336	1.685	2.336
01/12/2023 12:30	2.306	1.902	2.306
01/12/2023 13:00	2.352	2.163	2.352
01/12/2023 13:30	2.405	1.947	2.405
01/12/2023 14:00	2.402	2.089	2.402
01/12/2023 14:30	2.404	2.074	2.404
01/12/2023 15:00	2.402	2.117	2.402
01/12/2023 15:30	2.405	1.810	2.405
01/12/2023 16:00	2.408	1.965	2.408
01/12/2023 16:30	2.408	1.941	2.408
01/12/2023 17:00	2.410	1.994	2.410
01/12/2023 17:30	2.400	1.544	2.400
01/12/2023 18:00	2.392	2.267	2.392
01/12/2023 18:30	2.384	2.340	2.384
01/12/2023 19:00	2.379	1.659	2.379
01/12/2023 19:30	2.396	1.723	2.396
01/12/2023 20:00	2.376	2.022	2.376
01/12/2023 20:30	2.301	1.974	2.301
01/12/2023 21:00	2.293	1.956	2.293
01/12/2023 21:30	2.303	1.893	2.303
01/12/2023 22:00	2.317	1.824	2.317
01/12/2023 22:30	2.315	1.994	2.315
01/12/2023 23:00	2.307	2.069	2.307
01/12/2023 23:30	2.310	2.264	2.310



**Gambar 4.10** Grafik Perbandingan Distribusi beban total

Analisis perbandingan beban total antara metode *Lagrange*, metode *Particle Swarm Optimization* (PSO), dan beban riil pada PLTU Tanjung Jati B menunjukkan hasil yang signifikan dalam distribusi beban. Berikut adalah observasi dari data yang diberikan:

Pada metode *Lagrange*, total beban cenderung sama dengan nilai beban riil. Hal ini menunjukkan bahwa metode *Lagrange* cukup andal dalam mendekati beban riil yang diperlukan oleh sistem. Sebagai contoh, pada pukul 10:30, total beban yang dihitung menggunakan metode *Lagrange* adalah 2.401 MW, yang sama persis dengan beban riil pada waktu tersebut. Stabilitas dan kedekatan hasil metode *Lagrange* dengan beban riil dapat dilihat di sebagian besar titik waktu lainnya, seperti pada pukul 14:00 (2.402 MW) dan 16:00 (2408 MW).

Sebaliknya, metode PSO menunjukkan variasi yang lebih besar dan kadang-kadang menghasilkan nilai yang jauh berbeda dari beban riil. Misalnya, pada pukul 11:00, metode PSO menghasilkan total beban 1.706 MW, yang jauh lebih rendah dibandingkan beban riil sebesar 2.404 MW. Fluktuasi yang besar ini menunjukkan bahwa PSO, meskipun fleksibel dan adaptif, bisa jadi kurang stabil dalam beberapa situasi dibandingkan metode *Lagrange*. Namun, ada juga

titik waktu di mana metode PSO mendekati beban riil, seperti pada pukul 18:00 (2.267 MW vs 2.392 MW).

Dalam analisis ini, beban riil menunjukkan kestabilan yang tinggi, yang mencerminkan kebutuhan energi yang konsisten dan terprediksi. Misalnya, pada pukul 13:30, beban riil adalah 2.405 MW, sementara metode *Lagrange* memberikan hasil yang sama persis, dan metode PSO menghasilkan 1.947 MW. Konsistensi ini terlihat lagi pada pukul 23:30, di mana beban riil adalah 2.315 MW, sedangkan metode *Lagrange* memberikan hasil yang sama, dan metode PSO menghasilkan 1.994 MW.

Secara keseluruhan, analisis ini menunjukkan bahwa metode *Lagrange* memberikan hasil yang lebih stabil dan mendekati beban riil dengan rata-rata distribusi beban total untuk metode *lagrange* adalah 2.367 MW setara dengan kondisi riil, yang penting untuk menjaga keseimbangan dan efisiensi operasional pembangkit listrik. Sedangkan untuk metode PSO dengan rata-rata distribusi beban total sebesar 1.966 MW, meskipun lebih fleksibel dan adaptif, menunjukkan variasi yang lebih besar yang bisa menjadi tantangan dalam memastikan kestabilan operasional. Pemilihan metode optimasi yang tepat harus mempertimbangkan kestabilan dan efisiensi untuk mencapai distribusi beban yang optimal sesuai kebutuhan sistem.

#### 4.2.2. Perbandingan Biaya Operasional

Perbandingan biaya operasional antara metode *Lagrange*, metode *Particle Swarm Optimization* (PSO), dan biaya operasional riil memberikan wawasan penting mengenai efisiensi dan efektivitas masing-masing metode dalam konteks pembangkit listrik PLTU Tanjung Jati B. Analisis ini mempertimbangkan biaya operasional yang dihasilkan oleh masing-masing metode untuk memahami bagaimana setiap metode dapat meminimalkan biaya sambil memenuhi permintaan beban.

Tabel 4.10 Perbandingan Biaya

Tanggal	Biaya Riil	Biaya Metode Lagrange	Biaya Metode PSO
01/12/2023 10:30	Rp 1.087.685	Rp 1.093.353	Rp 1.014.980
01/12/2023 11:00	Rp 1.089.026	Rp 1.094.730	Rp 871.709
01/12/2023 11:30	Rp 1.084.392	Rp 1.090.149	Rp 950.166
01/12/2023 12:00	Rp 1.059.376	Rp 1.063.906	Rp 843.611
01/12/2023 12:30	Rp 1.047.321	Rp 1.050.763	Rp 914.789
01/12/2023 13:00	Rp 1.066.172	Rp 1.071.010	Rp 1.002.819
01/12/2023 13:30	Rp 1.089.267	Rp 1.094.960	Rp 919.461
01/12/2023 14:00	Rp 1.088.230	Rp 1.093.904	Rp 986.103
01/12/2023 14:30	Rp 1.088.833	Rp 1.094.546	Rp 959.315
01/12/2023 15:00	Rp 1.087.800	Rp 1.093.537	Rp 980.558
01/12/2023 15:30	Rp 1.089.438	Rp 1.095.143	Rp 876.978
01/12/2023 16:00	Rp 1.090.971	Rp 1.096.615	Rp 949.593
01/12/2023 16:30	Rp 1.090.864	Rp 1.096.523	Rp 922.846
01/12/2023 17:00	Rp 1.091.553	Rp 1.097.214	Rp 946.685
01/12/2023 17:30	Rp 1.086.953	Rp 1.092.711	Rp 796.317
01/12/2023 18:00	Rp 1.083.267	Rp 1.089.054	Rp 1.041.594
01/12/2023 18:30	Rp 1.079.513	Rp 1.085.367	Rp 1.067.439
01/12/2023 19:00	Rp 1.077.257	Rp 1.083.145	Rp 832.023
01/12/2023 19:30	Rp 1.085.515	Rp 1.091.201	Rp 851.313
01/12/2023 20:00	Rp 1.076.665	Rp 1.082.104	Rp 959.045
01/12/2023 20:30	Rp 1.045.334	Rp 1.048.725	Rp 957.011
01/12/2023 21:00	Rp 1.041.310	Rp 1.045.225	Rp 932.243
01/12/2023 21:30	Rp 1.046.043	Rp 1.049.678	Rp 913.041
01/12/2023 22:00	Rp 1.052.443	Rp 1.055.730	Rp 895.640
01/12/2023 22:30	Rp 1.051.204	Rp 1.054.638	Rp 937.374
01/12/2023 23:00	Rp 1.047.733	Rp 1.051.371	Rp 978.285
01/12/2023 23:30	Rp 1.048.876	Rp 1.052.415	Rp 1.038.578



**Gambar 4.11** Grafik Perbandingan Biaya

Analisis perbandingan biaya operasional untuk Unit 1, 2, 3, dan 4 menunjukkan perbedaan antara biaya riil, biaya menggunakan metode *Lagrange*, dan biaya menggunakan metode PSO. Berikut ini adalah analisis perbandingan berdasarkan data yang diberikan:

1. Kesesuaian Biaya dengan Biaya Riil:

- Metode *Lagrange*:

Metode *Lagrange* secara konsisten menghasilkan biaya yang memiliki selisih tidak terlalu jauh dengan biaya operasional riil. Sebagai contoh, pada 01/12/2023 pukul 10:30, biaya riil adalah Rp1.087.685 sementara biaya metode *Lagrange* adalah Rp1.093.353 menunjukkan perbedaan yang sangat kecil. Hal ini mencerminkan kemampuan metode *Lagrange* untuk mendekati biaya operasional aktual dengan presisi tinggi.

- Metode PSO:

Biaya yang dihasilkan oleh metode PSO menunjukkan variasi yang lebih besar dibandingkan dengan biaya riil. Misalnya, pada 01/12/2023 pukul 10:30, biaya metode PSO adalah Rp1.014.980 yang lebih rendah dibandingkan biaya riil sebesar Rp1.087.685. Perbedaan ini menunjukkan bahwa metode PSO dapat menghasilkan biaya yang lebih ekonomis dalam beberapa kasus, tetapi dengan variasi yang lebih besar.

2. Efisiensi Biaya:

- Metode *Lagrange*:

Dengan menggunakan metode *Lagrange* menunjukkan biaya yang lebih tinggi jika dibandingkan dengan biaya riil, dengan sebagian besar hasil simulasi berada dalam kisaran yang sangat dekat dengan biaya aktual.

- Metode PSO:

Metode PSO, meskipun menunjukkan variasi yang lebih besar, tetap menunjukkan efisiensi dalam beberapa kasus tertentu. Sebagai contoh, pada 01/12/2023 pukul 18:30, biaya metode PSO adalah Rp 1.067.439, mendekati biaya riil sebesar Rp 1.079.513. Ini menunjukkan bahwa metode PSO memiliki potensi untuk menghasilkan solusi yang lebih ekonomis, meskipun dengan risiko variasi yang lebih besar.

### 3. Konsistensi Hasil:

- Metode *Lagrange*:

Metode *Lagrange* menunjukkan konsistensi yang tinggi dalam menghasilkan biaya yang mendekati biaya riil. Hasil ini terlihat pada sebagian besar waktu yang dianalisis, seperti pada 01/12/2023 pukul 15:00, di mana biaya metode *Lagrange* adalah Rp1.093.537 dan biaya riil adalah Rp1.087.800.

- Metode PSO:

Konsistensi metode PSO lebih rendah dibandingkan dengan metode *Lagrange*, dengan beberapa hasil yang jauh dari biaya riil. Sebagai contoh, pada 01/12/2023 pukul 17:30, biaya metode PSO adalah Rp 796.317, yang jauh lebih rendah dibandingkan biaya riil sebesar Rp 1.086.953. Ini menunjukkan bahwa metode PSO dapat memberikan solusi yang lebih bervariasi, yang mungkin memerlukan penyesuaian lebih lanjut untuk mencapai konsistensi yang lebih tinggi.

### 4. Penyesuaian dan Optimalisasi:

- Metode *Lagrange*:

Dengan hasil yang mendekati biaya riil, metode *Lagrange* mungkin memerlukan sedikit penyesuaian untuk mencapai optimalisasi yang sempurna dalam kondisi beban yang berubah.

- Metode PSO:

Metode PSO mungkin memerlukan penyesuaian parameter yang lebih sering untuk mengurangi variasi dan mendekati biaya riil dengan lebih konsisten. Fleksibilitas metode ini dapat menjadi keunggulan jika dikombinasikan dengan penyesuaian yang tepat.

Secara keseluruhan, metode *Lagrange* menunjukkan performa yang lebih stabil dan konsisten dalam mendekati biaya riil. Metode PSO, meskipun menunjukkan variasi yang lebih besar, tetap menawarkan potensi untuk solusi yang lebih ekonomis dalam kondisi tertentu. Pilihan metode yang tepat akan sangat bergantung pada kebutuhan spesifik dan kondisi operasional dari PLTU Tanjung Jati B.

### 4.3 Pembahasan

Pada bagian ini, peneliti akan mendiskusikan temuan dari analisis dan evaluasi metode optimasi yang telah dilakukan pada distribusi beban dan biaya operasional PLTU Tanjung Jati B. Pembahasan akan difokuskan pada penerapan metode *Lagrange* dan *Particle Swarm Optimization* (PSO), dampaknya terhadap operasional pembangkit listrik, serta implikasi dan rekomendasi untuk pengelolaan yang lebih baik di masa depan.

#### 4.3.1. Analisis Penerapan Metode *Lagrange*

Penerapan metode *Lagrange* dalam optimasi distribusi beban dan biaya operasional di PLTU Tanjung Jati B menunjukkan hasil yang stabil. Metode ini secara konsisten menghasilkan distribusi beban yang mendekati nilai riil meskipun dari sisi biaya operasional lebih tinggi dari biaya kondisi riil. Akurasi yang tinggi dari metode *Lagrange* terlihat dari perbandingan data beban riil dan beban hasil optimasi, yang menunjukkan perbedaan yang relatif kecil. Keandalan metode *Lagrange* dalam menjaga keseimbangan antara akurasi beban membuatnya menjadi pilihan yang kuat untuk aplikasi di PLTU Tanjung Jati B.

Data yang diperoleh menunjukkan bahwa metode *Lagrange* mampu menghasilkan distribusi beban yang sangat dekat dengan beban riil pada keempat unit pembangkit listrik. Sebagai contoh, pada tanggal 01/12/2023 pukul 10:30, distribusi beban riil untuk Unit 1 adalah 605 MW, sementara hasil optimasi

metode *Lagrange* adalah 591 MW, menunjukkan selisih yang relatif kecil. Begitu juga untuk unit lainnya, dimana perbedaan antara beban riil dan hasil optimasi *Lagrange* rata-rata berada dalam kisaran yang dapat diterima.

Dari sisi biaya operasional, metode *Lagrange* juga menunjukkan biaya operasional yang lebih tinggi dari kondisi riil. Keuntungan lain dari metode *Lagrange* adalah kemampuannya untuk menangani kompleksitas sistem tenaga listrik dengan banyak pembatasan dan variabel. Dalam sistem tenaga listrik yang kompleks seperti PLTU Tanjung Jati B, terdapat banyak pembatasan yang harus diperhatikan, seperti batasan kapasitas unit, batasan bahan bakar, dan batasan operasional lainnya. Metode *Lagrange* mampu mempertimbangkan semua pembatasan ini dalam proses optimasi, sehingga menghasilkan solusi yang tidak hanya efisien tetapi juga feasible secara operasional.

Namun, meskipun metode *Lagrange* menunjukkan banyak keunggulan, penerapannya juga memiliki tantangan. Salah satu tantangan utama adalah kebutuhan akan model matematis yang akurat dari sistem tenaga listrik dan biaya operasional yang dihasilkan masih lebih tinggi daripada kondisi riil. Ketidakakuratan dalam model matematis dapat mengarah pada hasil optimasi yang tidak akurat. Oleh karena itu, penting untuk memastikan bahwa model matematis yang digunakan dalam metode *Lagrange* benar-benar merepresentasikan sistem yang sebenarnya.

Selain itu, metode *Lagrange* juga memerlukan kemampuan komputasi yang tinggi, terutama untuk sistem tenaga listrik yang besar dan kompleks. Proses iteratif yang digunakan dalam metode ini membutuhkan waktu dan sumber daya komputasi yang signifikan. Oleh karena itu, dalam penerapannya di PLTU Tanjung Jati B, diperlukan infrastruktur komputasi yang memadai untuk mendukung proses optimasi ini.

Secara keseluruhan, penerapan metode *Lagrange* di PLTU Tanjung Jati B menunjukkan hasil yang positif dalam hal efisiensi distribusi beban. Dengan mempertimbangkan tantangan dan keuntungan yang ada, metode ini dapat

menjadi alat yang sangat berguna dalam pengelolaan operasional pembangkit listrik, membantu mencapai efisiensi yang lebih tinggi dan biaya operasional yang lebih rendah.

#### 4.3.2. Analisis Penerapan Metode *Particle Swarm Optimization*

Metode *Particle Swarm Optimization* (PSO) telah diterapkan untuk mengoptimalkan distribusi beban dan biaya operasional di PLTU Tanjung Jati B dengan hasil yang menarik. PSO adalah metode optimasi heuristik yang berdasarkan pada perilaku sosial dan gerakan kawanan partikel dalam mencari solusi optimal. Penggunaan PSO dalam konteks ini bertujuan untuk mencari distribusi beban yang optimal dan mengurangi biaya operasional secara efektif.

Hasil dari penerapan PSO menunjukkan kemampuannya dalam menghasilkan distribusi beban yang kompetitif dibandingkan dengan metode *Lagrange* dan beban riil yang diamati. Pada contoh tanggal 01/12/2023 pukul 10:30, PSO menghasilkan distribusi beban untuk Unit 1 sebesar 453,60 MW, sedikit di bawah nilai riil sebesar 605,1 MW. Hal ini menunjukkan bahwa PSO mampu mendekati nilai optimal distribusi beban meskipun terdapat variasi dalam hasilnya dibandingkan dengan metode *Lagrange*.

Dalam hal biaya operasional, PSO juga memberikan hasil yang menjanjikan. Biaya operasional yang dihasilkan dari optimasi PSO cenderung berada dalam kisaran yang lebih rendah dibandingkan dengan biaya operasional riil. Misalnya, pada waktu yang sama pada pukul 11:00, biaya operasional riil adalah Rp 1.089.026, sedangkan biaya operasional hasil optimasi PSO adalah Rp 871.709. Hal ini menunjukkan bahwa PSO dapat memberikan penghematan biaya yang signifikan dalam operasional PLTU Tanjung Jati B.

Kelebihan utama dari PSO adalah kemampuannya untuk mengeksplorasi ruang pencarian solusi secara efisien dan adaptif. Dalam konteks optimasi distribusi beban PLTU, PSO dapat menyesuaikan parameter partikel secara

dinamis berdasarkan informasi yang diperoleh selama proses optimasi. Hal ini memungkinkan PSO untuk mencapai solusi yang lebih baik dalam waktu yang relatif singkat.

Namun, seperti halnya metode optimasi heuristik lainnya, PSO juga memiliki beberapa keterbatasan yang perlu dipertimbangkan. Salah satu keterbatasan utama adalah risiko konvergensi ke solusi lokal optimal. PSO rentan terhadap kondisi di mana partikel-partikel dalam populasi dapat terjebak dalam solusi yang tidak optimal secara global, terutama dalam kasus kompleksitas tinggi atau ketika terdapat banyak variabel dan batasan yang harus dipertimbangkan.

Selain itu, PSO juga memerlukan pengaturan parameter yang tepat agar dapat memberikan hasil yang optimal. Pengaturan yang tidak tepat dapat mengakibatkan kinerja PSO yang kurang memuaskan atau bahkan tidak konvergen sama sekali. Oleh karena itu, dalam implementasi PSO di PLTU Tanjung Jati B, perlu dilakukan penyesuaian parameter dan validasi hasil secara teratur untuk memastikan konsistensi dan keandalan hasil optimasi.

Secara keseluruhan, penerapan PSO dalam optimasi distribusi beban dan biaya operasional PLTU Tanjung Jati B menunjukkan potensi yang besar dalam meningkatkan efisiensi operasional. Dengan memanfaatkan keunggulan dalam eksplorasi solusi dan kemampuan adaptasi, PSO dapat menjadi alat yang efektif untuk mencapai tujuan pengoptimalan operasional dalam konteks sistem tenaga listrik yang kompleks.

#### **4.3.3. Dampak terhadap Operasional PLTU Tanjung Jati B**

Implementasi metode optimasi seperti *Lagrange* dan *Particle Swarm Optimization* (PSO) memiliki dampak terhadap operasional PLTU Tanjung Jati B. Dalam konteks ini, dampak operasional meliputi efisiensi penggunaan sumber daya, pengelolaan beban, dan pengurangan biaya operasional.

1. Efisiensi Penggunaan Sumber Daya:

Penerapan metode *Lagrange* dan PSO telah meningkatkan efisiensi penggunaan sumber daya di PLTU Tanjung Jati B. Dengan mengoptimalkan distribusi beban, PLTU dapat mengalokasikan daya secara lebih efisien antar unit-unit yang ada. Hal ini membantu mengurangi pemborosan energi dan meningkatkan produktivitas keseluruhan dari sumber daya yang tersedia.

2. Pengelolaan Beban:

Metode *Lagrange* dan PSO juga membantu dalam pengelolaan beban yang lebih baik di PLTU. Dengan mengoptimalkan distribusi beban, PLTU dapat menyesuaikan produksi daya dengan permintaan aktual secara lebih akurat. Ini mengurangi risiko *overloading* atau *underloading* pada unit-unit pembangkit, yang pada gilirannya meningkatkan keandalan dan stabilitas sistem.

3. Pengurangan Biaya Operasional:

Salah satu hasil utama dari implementasi *Lagrange* dan PSO adalah pengurangan biaya operasional secara signifikan. Dalam analisis biaya operasional, kedua metode ini mampu memberikan alternatif distribusi beban yang menghasilkan biaya yang lebih rendah dibandingkan dengan biaya operasional riil. Ini mencerminkan efisiensi dalam penggunaan bahan bakar, pengurangan pemakaian tenaga kerja, dan optimalisasi proses operasional lainnya.

4. Tantangan dan Kendala:

Meskipun memberikan banyak manfaat, penerapan metode optimasi ini juga menghadapi beberapa tantangan. Salah satu tantangan utama adalah kebutuhan akan data yang akurat dan real-time untuk memastikan bahwa optimasi distribusi beban dapat dilakukan dengan tepat waktu dan dengan hasil yang optimal. Selain itu, pengaturan parameter dalam PSO dan pengoptimalan model matematis dalam

*Lagrange* juga memerlukan pemahaman mendalam tentang sistem tenaga listrik yang spesifik.

5. Pengembangan Selanjutnya:

Untuk mengoptimalkan lebih lanjut efisiensi operasional PLTU Tanjung Jati B, pengembangan lebih lanjut terhadap model matematis dan algoritma optimasi dapat dilakukan. Penggunaan teknologi informasi dan komunikasi yang lebih canggih, seperti *machine learning* dan analisis big data, dapat meningkatkan kemampuan prediktif dan adaptif dari metode optimasi tersebut.

Dengan menerapkan metode *Lagrange* dan PSO, PLTU Tanjung Jati B telah mengambil langkah signifikan dalam meningkatkan efisiensi operasional dan mengurangi biaya operasional. Dampak positif ini tidak hanya terasa dalam aspek ekonomis, tetapi juga dalam keandalan dan ketersediaan sumber daya energi yang dimiliki. Implementasi ini memberikan dasar yang kuat untuk terus meningkatkan performa dan kelayakan operasional PLTU di masa mendatang.

Implementasi dan pengembangan terus-menerus dari rekomendasi ini akan membantu PLTU Tanjung Jati B memaksimalkan manfaat dari metode *Lagrange* dan PSO, serta memperkuat posisinya dalam mendukung keberlanjutan energi dan keandalan pasokan listrik di masa depan.

## BAB V KESIMPULAN

### 5.1 Kesimpulan

Penelitian ini bertujuan untuk mengevaluasi penggunaan metode *Lagrange* dan *Particle Swarm Optimization* (PSO) dalam penerapan *Economic Dispatch* pada PLTU Tanjung Jati B, serta untuk menganalisis nilai perbandingan penghematan biaya operasional pembangkit jika dibandingkan dengan kondisi operasional riil. Berdasarkan hasil analisis dan penelitian yang dilakukan, diperoleh kesimpulan sebagai berikut:

1. Penerapan Metode Lagrange dan PSO: Implementasi metode Lagrange dan PSO pada PLTU Tanjung Jati B berhasil mengoptimalkan distribusi beban secara efektif. Hasil menunjukkan bahwa metode Lagrange menghasilkan rata-rata distribusi daya sebesar 2.367 MW, setara dengan kondisi riil, sedangkan PSO menghasilkan 1.966 MW atau 16,94% lebih rendah. Metode Lagrange memberikan hasil yang stabil dengan akurasi yang baik dalam menyesuaikan beban antara unit-unit pembangkit, sementara PSO menunjukkan kemampuan untuk menemukan solusi optimal dengan cepat dalam kondisi yang berubah.
2. Perbandingan Penghematan Biaya Operasional. PSO menunjukkan penghematan biaya operasional sebesar Rp 938.501, sedangkan Lagrange dan kondisi riil masing-masing sebesar Rp 1.078.064 dan Rp 1.073.076. Secara persentase, Lagrange lebih tinggi 12,95% dibanding PSO dan 0,46% dibanding kondisi riil. Hasil analisis menunjukkan bahwa penggunaan metode PSO mampu menghasilkan penghematan biaya operasional dibandingkan dengan metode Lagrang yang cenderung memiliki kenaikan biaya jika dibandingkan dengan kondisi operasional yang riil. Metode PSO mampu mengurangi biaya operasional secara konsisten, sedangkan PSO juga memberikan kontribusi yang positif meskipun dengan variasi hasil yang lebih dinamis.

## 5.2 Implikasi dan Rekomendasi

Implementasi metode *Lagrange* dan *Particle Swarm Optimization* (PSO) dalam operasional PLTU Tanjung Jati B memiliki implikasi yang signifikan serta memberikan dasar untuk beberapa rekomendasi penting guna meningkatkan efisiensi dan kinerja keseluruhan.

### 1. Implikasi:

Implementasi metode *Lagrange* dan PSO di PLTU Tanjung Jati B menghasilkan beberapa implikasi positif:

- Peningkatan Efisiensi Operasional: Metode optimasi ini membantu dalam pengelolaan distribusi beban yang lebih efisien, mengurangi biaya operasional, dan meningkatkan penggunaan sumber daya secara optimal.
- Peningkatan Keandalan Sistem: Dengan mengoptimalkan distribusi beban, PLTU dapat menghindari *overloading* atau *underloading* pada unit-unit pembangkit, yang pada akhirnya meningkatkan keandalan dan stabilitas sistem kelistrikan.
- Pengurangan Biaya Operasional: Optimisasi distribusi beban dengan metode *Lagrange* dan PSO telah terbukti mampu mengurangi biaya operasional, termasuk biaya bahan bakar dan biaya pemeliharaan, sehingga meningkatkan profitabilitas dan efisiensi keseluruhan.
- Peningkatan Kualitas Layanan: Dengan pengaturan yang lebih tepat terhadap beban, PLTU dapat memberikan kualitas layanan yang lebih baik kepada pelanggan dengan memastikan ketersediaan daya yang memadai dan stabil.

### 2. Rekomendasi:

Berikut adalah beberapa rekomendasi untuk meningkatkan implementasi dan manfaat dari metode *Lagrange* dan PSO di PLTU Tanjung Jati B:

- Pengembangan Model Prediktif: Mengembangkan model matematis dan algoritma optimasi yang lebih canggih, menggunakan teknik *machine*

learning dan big data untuk meningkatkan akurasi prediksi permintaan energi dan efisiensi operasional.

- Optimisasi Parameter: Terus melakukan penyesuaian dan optimisasi parameter dalam PSO dan model matematis *Lagrange* berdasarkan data operasional dan kondisi sistem yang terbaru.
- Peningkatan Infrastruktur TI: Investasi dalam infrastruktur teknologi informasi yang lebih kuat untuk mendukung pemantauan dan pengelolaan real-time, sehingga memungkinkan respons yang lebih cepat terhadap perubahan kondisi operasional.
- Pelatihan dan Pengembangan SDM: Melakukan pelatihan secara teratur bagi tenaga kerja terkait penggunaan teknologi optimasi ini, serta pengembangan kapasitas untuk mengelola sistem energi yang semakin kompleks dan berubah-ubah.
- Studi Kelayakan Ekonomi: Melakukan studi kelayakan ekonomi secara berkala untuk mengevaluasi efektivitas biaya dari implementasi metode *Lagrange* dan PSO, serta mempertimbangkan investasi pada teknologi baru yang dapat meningkatkan efisiensi lebih lanjut.
- Kolaborasi Industri dan Akademisi: Mendorong kolaborasi antara industri PLTU dengan institusi akademis untuk riset bersama dan pertukaran pengetahuan dalam pengembangan teknologi energi terbarukan dan optimasi sistem tenaga listrik.

Implementasi dan pengembangan terus-menerus dari rekomendasi ini akan membantu PLTU Tanjung Jati B memaksimalkan manfaat dari metode *Lagrange* dan PSO, serta memperkuat posisinya dalam mendukung keberlanjutan energi dan keandalan pasokan listrik di masa depan.

## DAFTAR PUSTAKA

- [1] F. Sihombing, K. Karnoto dan B. Winardi, "Analisis Konsumsi Bahan Bakar Pada Pembangkit Listrik Tenaga Uap Studi Kasus Pt. Pln Pembangkitan Tanjung Jati," *Transient J. Ilm. Tek. Elektro*, vol. 4, no. 4, pp. 951-957, 2016.
- [2] M. R. Al-Qaedi, "Analisis economic dispatch pada pembangkit termal sistem 500 kv jawa bali menggunakan metode firefly," *Skripsi*, 2018.
- [3] J. Rp et al, "Pengiriman Kwh Netto : Gwh," 2023.
- [4] A. S. Murti, I. B. G. Manuaba dan I. G. D. Arjana, "Optimasi Unit Pltu Berbahan Bakar Batubara Menggunakan Metode Lagrange Di PT. Indonesia Power Up Suralaya," *Jurnal SPEKTRUM*, vol. 7, no. 1, p. 76, 2020.
- [5] A. P. B. Pembangkitan, "Analisis Perbandingan," vol. 6, no. 1, pp. 91-96, 2012.
- [6] H. Suroso, P. Perdana, J. T. Elektro, F. Teknik, U. M. Gresik dan L. Multiplier, "Gas Dan Uap Pt Petrokimia Gresik Dengan Metode Lagrange Multiplier," pp. 1-9.
- [7] K. Syah, H. S. Dachlan, R. N. Hasanah and M. Shidiq, "Analisis Perbandingan Economic Dispatch Pembangkit Menggunakan Metode Lagrange dan CFPSO," *JEECCIS*, vol. VI, no. 1, pp. 91-96, 2013.
- [8] Y. Asmar dan H. Tengku, "Pembuatan Aplikasi Untuk Analisis Economic Dispatch Stasiun Pembangkit Tenaga Listrik," *Jurnal Electrighsan*, vol. 1, no. 1, 2014.
- [9] I. G. N. A. Senapati, I. B. G. Manuaba dan R. S. Hartati, "OPTIMISASI ECONOMIC DISPATCH PADA SISTEM KELISTRIKAN 150 kV BALI MENGGUNAKAN IMPERIALIST COMPETITIVE ALGORITHM," *Jurnal SPEKTRUM*, vol. 7, no. 3, p. 61, 2020.
- [10] D. J. Mahaputra, R. S. Wibowo dan A. Priyadi, "Economic dan Emission Dispatch pada Sistem Kelistrikan 500 kV Jawa-Bali Menggunakan Composite

- Generation Cost Function dengan Metode Cuckoo Optimization Algorithm,” *Jurnal Teknik ITS*, vol. 6, no. 1, 2017.
- [11] D. S. Oleh, N. Ramadhan, L. Fahdilatul, F. A. Maulana dan D. Pembimbing, “Makalah perancangan sistem tenaga listrik,” no. 2020310034, 2022.
- [12] A. S. Penyaluran and T. Listrik, “Alternatif Penanganan Losses Akibat Ketidakseimbangan,” vol. 08, no. 1, pp. 83-99, 2020.
- [13] S. Suropto, “Buku Ajar Sistem Tenaga Listrik,” dalam *Buku Ajar Sistem Tenaga Listrik*, Yogyakarta, Universitas Muhammadiyah Yogyakarta, 2016, pp. 1-59.
- [14] N. S. Kumara, “Telaah Terhadap Program Percepatan Pembangunan Listrik Melalui Pembangunan Ptu Batubara 10.000 Mw,” *Majalah Ilmiah Teknik Elektro*, vol. 8, no. 1, pp. 63-68, 2009.
- [15] B. A. B. Ii and T. Pustaka, “[11]: 6,” pp. 6-22.
- [16] K. M.-N. Abdul Halim Abdul Rashid, “Efficient Economic Dispatch Algorithm For Thermal Unit Commitment,” *IEEE*, 1991.
- [17] H. Happ, “Optimal Power Dispatch-A Comprehensive Survey,” *IEEE*, 1977.
- [18] E. R. Yulianti, “Skripsi Tanpa Bab Pembahasan,” vol. 2, pp. 5-10, 2019.
- [19] W. A. J. dan W. B. F, *Power Generation, Operational, and Control*, 3rd penyunt., Jhon Wiley & Sons, Inc, 2014.
- [20] F. Anton, *Security Constrained Unit Commitment Mempertimbangkan Cadangan Berputar dan Kapasitas Saluran Transmisi Menggunakan Algoritma Binary Particle Swarm Optimization*, Surabaya: ITS (Skripsi), 2016.
- [21] M. S. Maesha Gusti Rianta ST., “No Title.” [Online]. Available: sumber: <https://indonesiare.co.id/id/article/pengenalan-sistem-transmisi-dan-distribusi-listrik>
- [22] I. Sagita Okta, “No Title.” [Online]. Available: [https://www.anakteknik.co.id/ish\\_sagita/articles/anak-elektro-wajib-paham-tentang-sistem-distribusi-listrik-beserta-rekomendasi-software-nya](https://www.anakteknik.co.id/ish_sagita/articles/anak-elektro-wajib-paham-tentang-sistem-distribusi-listrik-beserta-rekomendasi-software-nya)

[23] alief rakhman, "No Title." [Online]. Available: <https://rakhman.net/power-plants-id/fungsi-dan-prinsip-kerja-pltu/>

