

**PENJADWALAN EKONOMIS PEMBANGKIT TERMAL DI  
SULBAGSEL MENGGUNAKAN METODE GRAVITATONAL  
SEARCH ALGORITHM (GSA)**



**TUGAS AKHIR**

*Disusun dalam rangka memenuhi salah satu persyaratan untuk menyelesaikan  
Program Strata Satu Departemen Teknik Elektro Fakultas Teknik*

*Universitas Hasanuddin*

*Makassar*

**Oleh:**

**MUH ICHSAN ANUGRAH**

**D411 14 511**

**JURUSAN TEKNIK ELEKTRO FAKULTAS TEKNIK**

**UNIVERSITAS HASANUDDIN**

**MAKASSAR**

**2019**



**LEMBAR PENGESAHAN**  
**PENJADWALAN EKONOMIS PEMBANGKIT TERMAL DI**  
**SULBAGSEL MENGGUNAKAN METODE GRAVITAIONAL SEARCH**  
**ALGORITHM (GSA)**

Disusun Oleh :

MUH ICHSAN ANUGRAH

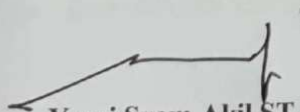
D41114511

Disusun dalam rangka memenuhi salah satu persyaratan untuk menyelesaikan  
Program Strata Satu Departemen Teknik Elektro Fakultas Teknik  
Universitas Hasanuddin

Makassar

Disahkan oleh :

Pembimbing I

  
Yusri Syam Akil, ST.MT., Ph.D.

Nip. 19770322 2005011001

Pembimbing II

  
Dr. Indar Chaerah Gunadin, ST.MT

Nip. 197311181998031001

Mengetahui,

Ketua Departemen Teknik Elektro

  
Prof. Dr. Ir. H. Salama Manjang, MT  
Nip. 196212311990031024

ABSTRAK



Kebutuhan energi listrik semakin hari semakin meningkat. Pertumbuhan laju ekonomi dan perkembangan teknologi juga berdampak pada sistem tenaga listrik, mulai dari interkoneksi pembangkit yang semakin kompleks, juga dari pemanfaatan sumber daya lain sebagai alternatif pembangkitan tenaga listrik. Penelitian ini berfokus pada sistem Selselbar 150 kV menyuplai daya ke dalam sistem dengan konfigurasi pembangkit termal. Tujuan penelitian ini adalah mengoptimasi sistem pembangkitan termal pada sistem Selselbar 150 kV dengan menggunakan metode GSA. Penelitian ini menggunakan data tanggal 4 Desember 2017 pada dua skenario sistem, yaitu pada beban puncak siang pukul 14.00 WITA dan beban puncak malam pukul 19.00 WITA. Metode yang digunakan dalam optimasi pembangkitan sistem adalah metode GRAVITATIONAL SEARCH ALGORITHM dengan terlebih dahulu menentukan fungsi biaya bahan bakar tiap pembangkit termal menggunakan regresi orde dua. Kondisi optimal diperoleh saat seluruh beban sistem terpenuhi dengan konfigurasi pembangkit menghasilkan input atau biaya pembangkitan yang se-minimum mungkin dengan output atau daya se-maksimal mungkin dan membandingkan hasil optimasi tersebut dengan metode Lagrange. Hasil penelitian menunjukkan penghematan biaya paling besar dari hasil optimasi sistem saat beban puncak siang mencapai Rp.1.195.712,- per jam dan hasil optimasi sistem saat beban puncak malam mencapai Rp. 1.914.497,-.

Kata Kunci : *optimasi pembangkitan, biaya bahan bakar, fungsi kuadrat, metode gsa, gravitational search algorithm*

## ABSTRACT

As a city develops, the more its electricity needs will increase. The rate of economic growth and technological development also had an impact on the power system, ranging from the increasingly complex interconnections plants, as well as



from use of other resources as an alternative power generation. This study focuses on Selselbar 150 kV system supplying power to the system, with the configuration of the thermal power plant. The purpose of this study was to optimize the thermal generation system 150 kV dengan Selselbar system using GSA. This study uses data dated December 4, 2017 on a system of two scenarios, ie at peak loads afternoon at 14:00 pm and the evening peak load at 19:00 pm. The method used in the generation of system optimization is the method GRAVITATIONAL SEARCH ALGORITHM by first determining the fuel cost function of each thermal power plant using a second order regression. The optimal condition was obtained when the entire system load is met with generating plant configuration input or generation cost which is as minimum as possible with the output or the maximum possible power throughout the optimization and comparing the results with the Lagrange method. The results showed the greatest cost savings from the optimization of the system during the peak load reached Rp.1.195.712, - per hour and yield optimization during system peak load reached Rp. 1,914,497, -.

*Keywords: optimization of generation, fuel costs, quadratic functions, lagrange method, gravitational search algorithm*

## KATA PENGANTAR

Alhamdulillah Rabbil'alamin. Puji syukur penulis panjatkan kehadirat Tuhan yang Maha Esa dan kepada Allah SWT yang telah melimpahkan rahmat, hidayah serta taufiq dan karunianya sehingga penulis dapat menyelesaikan penulisan tugas akhir yang berjudul "**Penjadwalan Ekonomis Unit Pembangkit Thermal Di Sulbagsel Menggunakan Metode Gravitational**

iv



**Search Algorithm (GSA)**” dapat terselesaikan dengan baik. Shalawat dan salam senantiasa penulis curahkan kepada Rasulullah Shallallahu ‘alaihi wa sallam, sosok manusia panutan hingga akhir zaman.

Tugas Akhir ini merupakan syarat untuk menyelesaikan studi di Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin. Penulis menyadari bahwa dalam penyusunan Tugas Akhir ini mengalami berbagai kesulitan. Namun, berkat ketekunan dan usaha yang disertai doa, penulisan Tugas Akhir ini akhirnya dapat terselesaikan. Penyusunan Tugas Akhir ini juga tidak terlepas dari bantuan, dorongan, semangat, serta bimbingan dari berbagai pihak. Sehubungan dengan hal tersebut, penulis setulusnya menyampaikan terima kasih kepada:

1. Orang tua dan saudara-saudara kami tercinta serta seluruh keluarga atas segala doa, bantuan, nasehat, dan motivasinya.
2. Bapak **Yusri Syam Akil, S.T., M.T., Ph.D.** selaku pembimbing I dan Bapak **Dr. Ir. Indar Chaerah Gunadi, S.T.,M.T.** selaku Pembimbing II, terima kasih telah meluangkan waktu dan memberikan bimbingan, gagasan, serta ide-ide dalam penyelesaian Tugas Akhir ini.
3. Bapak **Prof. Dr. Ir. H. Salama Manjang, M.T.**, selaku Ketua Departemen Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin.
4. Bapak **Prof. Dr. Ir. H. Muhammad Tola, M.Eng**, Bapak **Prof.Dr.Ir.H. Ansar Suyuti, MT**, dan Bapak **Ir. Hj. Zaenab Muslimin M.T.** selaku penguji yang telah banyak memberikan masukan serta kritik guna menyempurnakan Tugas Akhir ini.
5. Seluruh dosen dan staf pengajar, serta pegawai Departemen Teknik Elektro atas segala ilmu, bantuan yang diberikan.
6. Rekan-Rekan “**Rectifier 2014**” Departemen Teknik Elektro angkatan 2014 yang berjuang bersama Penulis untuk menuntut ilmu di kampus merah tercinta.
7. Bosku Cahya Ramdhani Sila yang senantiasa membantu penulis dan memberikan motivasi dalam penyelesaian Tugas Akhir ini.
8. Teman seperjuangan grup “**Sedikit Mami S.T.**” Muhrizal Djabir, Noviantoro Unggul Dwi Saputro, Ade Wijaya Hukman S, Muhammad Arief Amran, Nur.Fadhli, Ghifary Fathan P., Zulkifli Yusuf, Aziz Mappabeta yang senantiasa menemani dan membantu penulis dalam menyelesaikan Tugas Akhir ini.
9. Saudara-saudara “**MECHOLIS**” yang senantiasa memberikan motivasi dalam penyelesaian Tugas Akhir ini.
10. Seluruh pihak yang tidak dapat kami sebutkan satu-persatu yang telah membantu dan mendukung kami dalam menyelesaikan tugas akhir ini.



Penulis menyadari bahwa masih banyak kekurangan yang terdapat dalam Tugas Akhir ini, oleh karena itu saran dan kritik dari semua pihak diharapkan untuk kesempurnaan Tugas Akhir ini. Penulis berharap semoga Tugas Akhir ini dapat mendatangkan manfaat baik bagi penulis maupun pembacanya.

Makassar, Maret 2019

Penulis,

Muh. Ichsan Anugrah

## DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL.....	i
LEMBAR PENGESAHAN.....	ii
ABSTRAK.....	iii

PENGANTAR.....	v
----------------	---

DAFTAR ISI.....	viii
-----------------	------

vi



DAFTAR GAMBAR.....	x
DAFTAR TABEL.....	xi
<b>BAB I PENDAHULUAN.....</b>	<b>1</b>
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Rumusan Masalah.....	3
1.3 Tujuan Penelitian.....	3
1.4 Batasan Masalah.....	3
1.5 Metode Penelitian.....	3
1.6 Sistematika Penulisan.....	4
<b>BAB II TINJAUAN PUSTAKA.....</b>	<b>6</b>
2.1 Sistem Tenaga Listrik.....	6
2.2 Karakteristik Unit Pembangkit Termal.....	9
2.3 Kemampuan Pembebanan Unit Pembangkit Termal.....	10
2.4 Karakteristik Input Output Pembangkit.....	11
2.5 Operasi Ekonomis Unit Pembangkit Termal.....	12
2.6 Economic Dispatch.....	13
2.3 Rugi-Rugi Saluran Transmisi.....	15
2.4 Gravitational Search Algorithm.....	16
<b>BAB III METODOLOGI PENELITIAN.....</b>	<b>18</b>
3.1 Tempat/Lokasi Penelitian .....	18
3.2 Waktu Penelitian.....	18
3.3 Pengambilan data.....	18



3.4 Diagram Alir Penelitian.....	18
3.5 Data Eksisting Sistem Sulselbar 150 kV.....	22
<b>BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN.....</b>	<b>28</b>
4.1 Perencanaan Simulasi.....	28
4.2 Optimasi Biaya Bahan Bakar ( <i>Economic Dispatch</i> ).....	30
4.3 Optimasi Biaya Bahan Bakar Dengan GSA.....	31
4.3.1 Simulasi Beban Puncak Siang.....	32
4.3.2 Simulasi Beban Puncak Malam.....	33
4.4 Perbandingan Data dengan Metode Gravitational Search Algorithm (GSA) dengan Metode Lagrange.....	35
<b>BAB V KESIMPULAN DAN SARAN.....</b>	<b>41</b>
5.1 Kesimpulan.....	41
5.2 Saran.....	42
<b>DAFTAR PUSTAKA.....</b>	<b>43</b>
<b>LAMPIRAN.....</b>	<b>48</b>

## DAFTAR GAMBAR

2.1 Skema Sistem Tenaga Listrik.....	6
--------------------------------------	---





Gambar 2.2 Skema Level Tegangan Sistem Tenaga Listrik.....	7
Gambar 2.3 Karakteristik Input-Output Pembangkit Termal.....	12
Gambar 2.4 N Pembangkit Termal Yang Melayani beban <i>Pload</i> .....	15
Gambar 3.1 Diagram Alur Penelitian.....	20
Gambar 3.2 Diagram Alur GSA.....	21
Gambar 3.3 Single Line Diagram system kelistriksn SULSELBAR 150 kV. .	27
Gambar 4.1 Daya Sebelum Dan Sesudah Optimasi Pembangkit Pada Saat Beban Puncak Siang.....	33
Gambar 4.2 Biaya Sebelum Dan Sesudah Optimasi Pembangkit Pada Saat Beban Puncak Siang.....	33
Gambar 4.3 Daya Sebelum Dan Sesudah Optimasi Pembangkit Pada Saat Beban Puncak Malam.....	35
Gambar 4.4 Biaya Sebelum Dan Sesudah Optimasi Pembangkit Pada Saat Beban Puncak Malam.....	35
Gambar 4.5 Grafik Perbandingan Daya Pembangkitan Menggunakan GSA Dan Daya Pembangkitan Lagrange Saat Siang.....	37
Gambar 4.6 Grafik Perbandingan Biaya Pembangkitan Menggunakan GSA Dan Daya Pembangkitan Lagrange Saat Siang.....	37
Gambar 4.7 Grafik Perbandingan Daya Pembangkitan Menggunakan GSA Dan Daya Pembangkitan Lagrange Saat Malam.....	39
Gambar 4.8 Grafik Perbandingan Biaya Pembangkitan Menggunakan GSA Dan Daya Pembangkitan Lagrange Saat Malam.....	40



## DAFTAR TABEL

Tabel 3.1 Data Saluran Transmisi Sistem SULBAGSEL 150 Kv.....	22
Tabel 3.2 Data Bus Pada Beban Puncak Siang Sistem SULBAGSEL 150 Kv	24
Tabel 3.3 Data Bus Pada Beban Puncak Malam Sistem SULBAGSEL 150 Kv.....	25
Tabel 4.1 Batasan Daya Pe,Bangkit Termal Sistem Interkoneksi 150 Kv.....	31
Tabel 4.2 Fungsi Biaya Pembangkit Termal Sistem SULBAGSEL 150 Kv....	31
Tabel 4.3 Optimasi Pembangkitan Pada Saat Beban Puncak Siang.....	32
Tabel 4.4 Optimasi Pembangkitan Pada Saat Beban Puncak Malam.....	34
Tabel 4.5 Perbandingan Sebelum Dan Sesudah Optimasi Pembangkitan Pada Saat Beban Puncak Siang.....	36
Tabel 4.6 Perbandingan Sebelum Dan Sesudah Optimasi Pembangkitan Pada Saat Beban Puncak Malam.....	38



# BAB I

## PENDAHULUAN

### 1.1 LATAR BELAKANG

Suatu sistem pembangkit secara garis besar terdiri dari pembangkit listrik tenaga hidro dan pembangkit listrik tenaga termal. Kedua pusat listrik tersebut terinterkoneksi untuk melayani kebutuhan beban, Pembangkit listrik tenaga termal menggunakan sumber energi yang tidak dapat diperbaharui. Karena itu memerlukan pengoperasian yang optimal agar tidak ada energi yang terbuang percuma.

Pada pembangkit dan penyaluran daya listrik ini selalu dilakukan pembagian pembebanan pada unit pembangkit yang akan menyuplai beban. Pertimbangan yang diambil untuk mencapai operasi ekonomis pada sistem tenaga, terdapat dua pokok permasalahan yang harus dipecahkan dalam operasi ekonomis pembangkit pada sistem tenaga listrik yaitu: pengaturan unit pembangkit (*unit commitment*) dan penjadwalan ekonomis (*economic dispatch*).

Unit commitment bertujuan untuk menentukan jadwal (*schedule*) *on/off unit* pembangkit yang paling optimum dioperasikan dalam memenuhi beban yang diperkirakan untuk mencapai biaya bahan bakar minimum rupiah masing-masing pusat pembangkitnya, sedemikian rupa sehingga jumlah biaya pengoperasian adalah seminimal mungkin. Seluruh pusat-pusat pembangkit dalam suatu sistem dikontrol terus menerus sehingga pembangkitan tenaga dilakukan dengan cara paling ekonomis. Algoritma *Gravitational Search Algorithm* (GSA) adalah salah satu algoritma optimasi yang dapat digunakan untuk pengambilan keputusan. Dan

ahasiswa kali ini adalah mengenai penjadwalan dan optimasi pembangkit di daerah SULBAGSEL dengan menggunakan GSA ini. Algoritma ini



terinspirasi dari sebuah teori hukum gravitasi yaitu teori Newton. Inti dari teori tersebut adalah “Setiap partikel yang ada di dunia akan saling menarik satu sama lain dengan kekuatan yang berbanding lurus dengan massa partikel dan berbanding terbalik dengan jarak antar partikel tersebut”. Sistem tarik menarik tersebut yang akan digunakan dalam melakukan pemecahan permasalahan optimasi pada kasus ini. Dalam memenuhi kebutuhan tenaga listrik, diperlukan suatu sistem yang terdiri dari beberapa pembangkit terinterkoneksi untuk menanggung beban bersama. Pengoperasian pembangkit selalu memperhatikan kondisi beban yang ada. Daya yang dibangkitkan dalam suatu sistem harus sama dengan daya yang terpakai agar kestabilan sistem tetap terjaga. Namun, hal tersebut tetap harus mempertimbangkan kondisi operasi yang ekonomis. Biaya operasi merupakan faktor yang perlu ditekan dalam pengoperasian sistem dengan tetap mempertahankan kestabilan dan keandalan sistem.

Sistem SULSELRABAR merupakan bagian dari sistem SULBAGSEL. Saat ini kondisi sistem kelistrikan SULBAGSEL dipasok dari PLTU, PLTA, PLTG/GU, PLTD, dan PLTMH yang tersebar di beberapa daerah. Sistem ini terhubung dalam suatu sistem interkoneksi yang terdiri dari sistem transmisi 275 kV, 150 kV, 70 kV. Sistem transmisi 275 kV digunakan untuk transfer energi dari pembangkit Poso melalui GI Palopo. Dalam sistem SULBAGSEL juga terdapat sistem *isolated* 20 kV dan 220 Volt untuk menjaga keandalan sistem. Sistem *isolated* terdapat di pulau-pulau seperti di Kabupaten Selayar dan Kabupaten Pangkep yang dipasok oleh PLTD, PLTM, serta PLTMH setempat. Hingga tahun 2015, rasio jumlah pelanggan rumah tangga di Provinsi Sulawesi Selatan sebesar 88,30%.

Arah penggunaan energi telah bergeser dari penggunaan energi berbahan bakar

dan batu bara ke arah pemanfaatan energi terbarukan. Untuk Indonesia terdapat beberapa potensi energi terbarukan yang dapat dimanfaatkan



untuk menghasilkan listrik. Salah satu potensi yang dimanfaatkan adalah potensi angin, yaitu telah dibangun suatu Pusat Listrik Tenaga Bayu di Mattirotasi, Watang Pulu, Sidenreng Rappang Regency, Sidrap, Sulawesi Selatan dengan kapasitas 75 MW. Pembangkit ini merupakan PLTB terbesar yang dibangun di Indonesia. Pembangkit ini berintegrasi dengan sistem kelistrikan Sulawesi Selatan pada saluran interkoneksi 150kV tahun 2020 sesuai yang tertera pada RUPTL PLN 2017-2026.

## 1.2 RUMUSAN MASALAH

1. Bagaimana penjadwalan ekonomis pembangkit termal menggunakan GSA untuk sistem SULBAGSEL?
2. Bagaimana unjuk kerja penjadwalan ekonomis dengan GSA?

## 1.1 TUJUAN PENELITIAN

Tujuan yang ingin dicapai dalam penelitian ini, yaitu:

1. Merancang penjadwalan ekonomis pembangkit termal sistem SULBAGSEL dengan menggunakan GSA.
2. Mengukur unjuk kerja penjadwalan ekonomis pembangkit termal dengan GSA pada sistem yang diaplikasikan.

## 1.1 BATASAN MASALAH

Untuk menghasilkan penelitian yang lebih spesifik, penulis memberikan batasan masalah sebagai berikut:

1. Optimasi hanya dilakukan untuk pembangkit termal 150 kV yang terhubung dengan sistem SULBAGSEL.
2. Algoritma optimasi yang diaplikasikan adalah GSA.

## 1.5 Metode Penelitian

Dalam penelitian ini, metode yang dilakukan sebagai berikut:

Studi literatur



Studi literatur ini dilakukan dengan cara mencari sumber informasi berupa referensi dari buku, internet, jurnal, dan sumber pustaka lain penunjang penelitian.

2. Pengelompokan data, yang bertujuan untuk:
  - a. Mengumpulkan dan mengelompokkan data agar lebih mudah dianalisis.
  - b. Mengetahui kekurangan data sehingga pekerjaan lebih efisien.

3. Pengolahan data

Dikerjakan dengan menerapkan dan melakukan simulasi pada aplikasi Matlab 2012 serta melakukan beberapa perhitungan dengan metode GSA dan disajikan dalam bentuk tabel

4. Analisis hasil pengolahan data

Dilakukan dengan tujuan untuk memperoleh simpulan sementara. Selanjutnya simpulan sementara ini akan diolah lebih lanjut pada bab pembahasan

5. Simpulan

Simpulan diperoleh setelah dilakukan analisis dan mendapatkan korelasi antara hasil pengolahan dengan permasalahan yang diteliti. Simpulan ini merupakan hasil akhir dari semua masalah yang dibahas.

## 1.6. Sistematika penulisan

Sistematika penulisan tugas akhir itu adalah sebagai berikut:

### BAB I PENDAHULUAN

Bab ini uraian mengenai latar belakang penelitian, rumusan masalah, tujuan penelitian, batasan masalah, metode penelitian, dan sistematika penulisan.

### TINJAUAN PUSTAKA



Pada bab ini berisi tentang teori penunjang dan referensi lain terkait dengan penjadwalan ekonomis pembangkit termal dan pengenalan metode GSA

### BAB III METODOLOGI PENELITIAN

Bab ini membahas metode yang digunakan dalam penelitian tugas akhir ini.

### BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

Pada bab ini diuraikan mengenai data-data yang digunakan dalam penyelesaian penelitian ini serta hasil optimasi pembangkitan sistem kelistrikan Suselbar 150kV.

### BAB V KESIMPULAN DAN SARAN

Pada bab ini berisi kesimpulan yang diperoleh dari hasil penelitian yang dilakukan serta saran-saran untuk memperbaiki tugas akhir ini agar dapat dikembangkan lebih lanjut

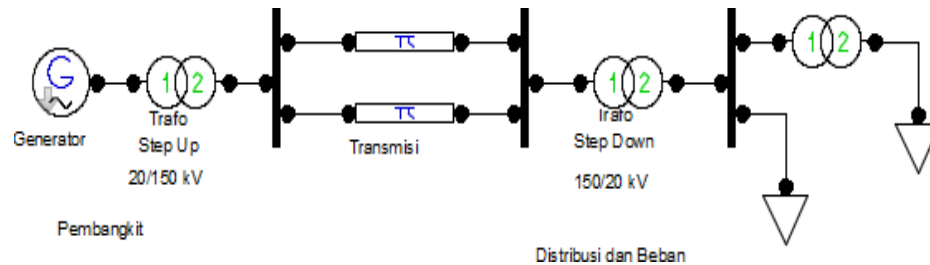
## BAB II

### TINJAUAN PUSTAKA

m Tenaga Listrik



Sistem tenaga listrik merupakan suatu sistem yang kompleks, terdiri dari beberapa bagian yang saling terhubung dan bekerja sama dalam memenuhi kebutuhan tenaga listrik para pelanggan. Bagian tersebut berupa pembangkitan, transmisi, distribusi, dan beban. Sistem tenaga listrik secara umum dapat ditunjukkan pada Gambar 2.1.



Gambar 2.1 Skema Sistem Tenaga Listrik [1].

Bagian-bagian tersebut memiliki fungsi masing-masing terhadap sistem tenaga listrik. sebagai berikut:

1. Pembangkitan merupakan bagian yang membangkitkan tenaga listrik. Bagian ini berfungsi untuk mengubah energi yang berasal dari sumber energi lain, seperti air, batu bara, panas bumi, minyak bumi, angin, dan lain lain, menjadi energi listrik.
2. Transmisi merupakan bagian yang berfungsi untuk menyalurkan energi listrik dari pusat pembangkitan energi menuju pusat beban.
3. Distribusi merupakan bagian yang berfungsi untuk membagikan energi listrik kepada konsumen energi listrik.
4. Beban merupakan bagian yang berfungsi untuk menyerap energi yang berada di dalam sistem.

Bagian-bagian tersebut saling bekerja sama dalam menjaga kondisi sistem dengan baik. Kondisi sistem dikatakan baik saat daya atau energi listrik yang dihasilkan oleh bagian pembangkitan sesuai dengan yang diserap oleh bagian beban sehingga tidak ada daya yang berlebih pada sistem. Dikarenakan memiliki beban yang berbeda, maka level tegangan pada masing-masing bagian pun berbeda. Hal ini ditunjukkan pada Gambar 2.2.

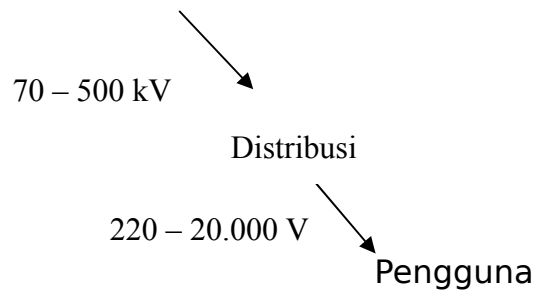


Pembangkitan

↓  
Penyaluran



11 – 24 kV



Sesuai keperluan

Gambar 2.2 Skema level tegangan sistem tenaga listrik [1].

Pada bagian pembangkitan, level tegangan yang digunakan mengikuti spesifikasi generator pembangkit, biasanya berada pada kisaran 11-24 kV. Level tegangan pada bagian ini dimaksudkan untuk berada di kisaran yang tidak tinggi, sebab semakin tinggi level tegangan maka jumlah lilitan pada generator yang digunakan harus lebih banyak. Sementara penggunaan lilitan yang lebih banyak ini mengakibatkan generator tidak efisien akibat ukuran yang membesar.

Pada bagian transmisi, level tegangan berada pada kisaran yang cukup tinggi, yaitu 70-500 kV. Hal ini disesuaikan dengan fungsi saluran transmisi yang merupakan penyalur daya, sehingga diharapkan sistem mampu menyalurkan daya secara efisien. Tolak ukur penyaluran daya yang efisien ialah rugi-rugi yang terjadi pada saluran transmisi tidak besar. Untuk itu, level tegangan perlu dinaikkan sehingga arus yang mengalir pada jaringan kecil. Arus merupakan faktor yang memperbesar rugi-rugi daya pada jaringan transmisi. Agar dapat meningkatkan level tegangan diperlukan transformator penaik tegangan yang

g dari bagian pembangkitan ke bagian transmisi.



Pada bagian distribusi, level tegangan menyesuaikan dengan tegangan pelanggan. Terdapat dua macam level tegangan pada bagian distribusi, yaitu 20 kV untuk jaringan tegangan menengah (JTM) dan 220 V untuk jaringan tegangan rendah (JTR). Untuk itu, diperlukan transformator penurun tegangan yang menurunkan tegangan dari saluran transmisi ke tegangan distribusi 20 kV serta transformator distribusi yang menurunkan tegangan 20 kV ke 220 V sesuai tegangan pelanggan.

Pada bagian beban, level tegangan sesuai dengan jenis bebannya. Bila merupakan beban industri, maka menggunakan tegangan menengah 20 kV. Sedangkan, untuk beban rumah tangga menggunakan tegangan rendah 220 V.

Suatu sistem yang besar biasanya merupakan suatu sistem yang terinterkoneksi pada seluruh bagiannya. Dengan kata lain, sistem tersebut memiliki beberapa pusat pembangkitan yang menyuplai bersama beberapa pusat bebanyang dapat dikendalikan dari satu tempat. Sistem interkoneksi ini menjadikan suatu sistem tenaga listrik yang kompleks namun dapat meningkatkan kualitas pelayanan listrik [1].

Pembangkit Tenaga Listrik merupakan bagian yang berfungsi untuk membangkitkan energi listrik dengan cara mengubah sumber energi lain, seperti bahan bakar minyak, batu bara, angin, surya, dan lain-lain, menjadi energi listrik. Terdapat beberapa jenis pembangkit yang masing-masing memiliki karakteristik yang berbeda-beda sehingga penggunaannya disesuaikan dengan keperluan. Secara umum, pembangkit tenaga listrik digolongkan menurut prinsip kerja dan sumber energi yang digunakan, yaitu:

#### 1. Pembangkit Non Termal.

Pembangkit Listrik Tenaga Air (PLTA)

.Pembangkit Listrik Tenaga Angin/Bayu (PLTB)



c. Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS)

## 2. Pembangkit Termal

a. Pembangkit Listrik Tenaga Uap (PLTU)

b. Pembangkit Listrik Tenaga Diesel (PLTD)

c. Pembangkit Listrik Tenaga Gas (PLTG)

d. Pembangkit Listrik Tenaga Nuklir (PLTN)

e. Pembangkit Listrik Tenaga Panas Bumi (PLTP)

Dalam pemilihan jenis pembangkit yang akan dibangun, terdapat satu hal yang dijadikan pedoman dan filosofi yaitu pembangunan paling murah dan investasi paling sedikit (least cost generation and least investment).[1]

### 2.2 Karakteristik Unit Pembangkit Termal

pembangkit thermis adalah pembangkit yang dalam pengoperasiannya menggunakan tenaga panas untuk menghasilkan listrik, misalkan pembangkit listrik tenaga uap yang menggunakan batu bara sebagai bahan bakarnya. Proses kerjanya menggunakan air dididihkan dalam sebuah bejana kemudian menghasilkan uap yang akhirnya digunakan untuk memutar turbin dan turbin menggerakkan generator sampai pada akhirnya menghasilkan tenaga listrik.[2]

Beberapa karakteristik pembangkit thermis:

1. Proses pembangkitan tenaga listrik relatif lama, karena harus menunggu sampai bahan bakar benar-benar menyala untuk menghasilkan panas yang maksimum agar didapat tenaga listrik yang maksimum juga.
2. Proses penghentiannya pembangkitan, juga memerlukan waktu yang cukup lama. Karena meskipun api telah padam, namun bara api nya masih menyala, yang berakibat masih terdapat panas yang berpotensi mendidihkan air.

gan pembangkit thermis :



1. Pembuatannya tidak terbentur kepada masalah pembebasan lahan, karena lahan yang digunakan relatif sedikit.
2. Daya yang dibangkitkan relatif besar

Kelemahan pembangkit termis:

1. Proses pembangkitan terbilang cukup lama karena membutuhkan kecepatan ataupun panas tertentu untuk dapat beroperasi dan menghasilkan listrik.
2. Biaya perawatan relatif lebih mahal, karena dalam pembangkitan alat-alat / saluran terhubung dengan panas sehingga memerlukan perawatan yang ekstra.

### **2.3 Kemampuan Pembebanan Unit Pembangkit Thermal**

Setiap mesin pembangkit listrik (generator) mempunyai kemampuan pembebanan yang dibatasi oleh kapasitas maksimum dan minimum. Adanya batas-batas ini selain karena keterbatasan kemampuan komponen-komponen mesin (thermal rating) , juga disebabkan alasan ekonomis yaitu efisiensi kerja dari mesin tersebut. Bila suatu unit pembangkit dioperasikan atau dibebani diluar batas maksimum dan minimumnya selain efisiensinya rendah, umur (lifetime) dari mesin tersebut akan menurun terutama bila sering mengalami pembebanan lebih (overloading). Oleh karena itu agar pembangkit tersebut selalu dapat bekerja dengan efisiensi yang cukup baik (ekonomis) serta stabil, maka pembangkit tersebut harus dioperasikan dalam daerah pembebanannya [3].

### **2.4 Karakteristik Input-Output Pembangkit**

Untuk menganalisis permasalahan mengenai operasi dalam sistem tenaga, khususnya masalah operasi ekonomis, diperlukan dasar mengenai karakteristik

input dari suatu unit pembangkit thermal. Untuk karakteristik input dan output dari suatu unit pembangkit thermal adalah karakteristik yang



menggambarkan hubungan antara input bahan bakar (liter/jam) dan output yang dihasilkan oleh pembangkit (MW)[4].

Input pada pembangkit thermal berupa panas dari bahan bakar yang diberikan pada boiler untuk menghasilkan output pembangkit ( energi listrik ),dapat ditulis dengan notasi H dengan satuan MBtu/h atau kalori/jam. Dapat pula dinyatakan dalam nilai uang yang menyatakan besarnya biaya yang di perlukan untuk bahan bakar,ditulis dengan notasi F dan satuan Rupiah/jam. Sedangkan output pembangkit adalah daya listrik (P) yang di keluarkan oleh generator untuk mensupply beban, diluar untuk keperluan pembangkit itu sendiri. Satuannya (MW). *Outputnya* adalah *output* daya listrik dari unit tersebut. Untuk masalah operasi ekonomis, biasanya kurva karakteristik input output pembangkit didekati dengan persamaan *polynomial* tingkat dua (kuadrat) persamaannya :

$$H_i = \alpha_i + \beta_i P T_i + \gamma P T_i^2 \dots\dots\dots(2.1)$$

dimana :

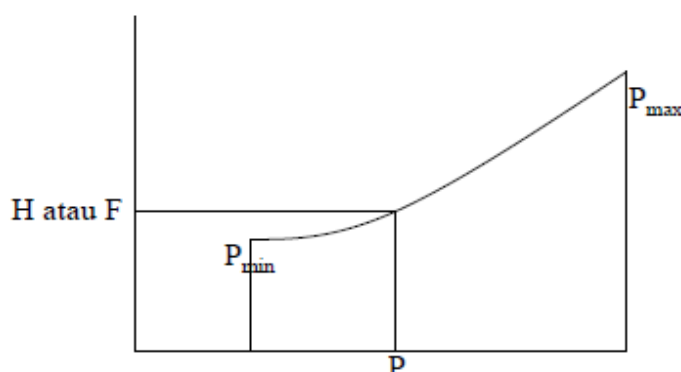
**H** = Input Pemakaian bahan bakar(Liter/Jam)

**P** = Daya listrik yang dibangkitkan(MW)

**$\alpha, \beta, \gamma$**  = Konstanta-konstanta

Untuk menggambarkan karakteristik input output dapat dilihat pada Gambar 2.3 , yang menunjukkan karakteristik *input-output* suatu unit pembangkit tenaga uap yang ideal. *Input* unit yang ditunjukkan pada sumbu ordinat adalah kebutuhan energi panas (MBtu/jam) atau biaya total per jam (R/jam). *Outputnya* adalah *output* daya listrik dari unit tersebut. Karakteristik yang ditunjukkan adalah bentuk ideal sehingga tampak halus berupa kurva cembung. [4]

Input H (MBtu/h) atau F(R/h)



Gambar 2.3 Karakteristik Input-Output unit pembangkit thermal (ideal) [4].

Data karakteristik input-output biasanya diperoleh dari hasil perhitungan desain atau dari hasil pengukuran. Jika data yang digunakan adalah data dari hasil pengukuran maka akan diperoleh kurva yang tidak kontinyu (*smooth*). Unit pembangkit termal mempunyai batas kritis operasi minimum dan maksimum, batas beban minimum umumnya disebabkan oleh kestabilan pembakaran dan masalah desain generator, sebagai contoh beberapa unit pembangkit termal tidak dapat beroperasi di bawah 30 % dari kapasitas desain [4].

### 2.5 Operasi ekonomis unit pembangkit thermal

Yang dimaksud dengan operasi ekonomis pembangkit thermal ialah proses pembagian atau penjadwalan beban total dari suatu sistem kepada masing-masing pusat pembangkitnya, sedemikian rupa sehingga jumlah biaya pengoperasian adalah seminimal mungkin. Seluruh pusat-pusat pembangkit dalam suatu system dikontrol terus menerus sehingga pembangkitan tenaga dilakukan dengan cara paling ekonomis. Operasi ekonomis ialah proses pembagian beban total kepada masing-masing unit pembangkit, seluruh unit pembangkit dikontrol terus menerus dalam interval waktu tertentu sehingga dicapai pengoperasian yang optimal, dengan demikian pembangkit tenaga listrik dapat dilakukan dengan cara paling ekonomis.

Pertimbangan yang diambil untuk mencapai operasi ekonomis pada sistem tenaga dapat dibagi atas dua bagian, yaitu :

*economic dispatch*, adalah pembagian pembebanan pada unit-unit pembangkit pada dalam sistem secara ekonomi. Dengan penerapan *economic dispatch* ,



maka akan di dapatkan biaya pembangkitan minimum terhadap produksi daya listrik yang di bangkitkan unit-unit pembangkit pada suatu sistem kelistrikan.

2) *Unit commitment*, yaitu penentuan kombinasi unit-unit pembangkit yang bekerja dan tidak perlu bekerja pada suatu periode untuk memenuhi kebutuhan beban sistem pada periode tersebut dengan biaya ekonomis.[5].

## 2.6 *Economic Dispatch*

*Economic dispatch* adalah pembagian pembebanan pada setiap unit pembangkit sehingga diperoleh kombinasi unit pembangkit yang dapat memenuhi kebutuhan beban dengan biaya yang minimum atau dengan kata lain untuk mencari nilai optimum dari output daya dari kombinasi unit pembangkit yang bertujuan untuk meminimalkan total biaya pembangkitan. Gambar 2.4 menunjukkan konfigurasi system yang terdiri dari N unit pembangkit thermal yang terhubung dengan 1 busbar yang melayani beban listrik,  $P_{load}$ . Input dari unit ini ditunjukkan sebagai  $F_i$  mewakili biaya (cost rate) unit. Output unit ini  $P_i$  adalah daya listrik yang di bangkitkan oleh unit pembangkit thermal. Kendala penting dalam operasi system ini adalah jumlah daya output harus sama dengan kebutuhan beban.

Dalam *economic dispatch*, ada dua kendala yang harus dipertimbangkan dalam proses komputasinya, yakni batas generator dan rugi-rugi transmisi.

Dalam sistem tenaga, kerugian transmisi merupakan kehilangan daya yang harus ditanggung oleh sistem pembangkit. Jadi kerugian transmisi ini merupakan tambahan beban bagi sistem tenaga. Untuk perhitungan dengan rugi transmisi diabaikan, berarti losses akibat saluran transmisi diabaikan dengan demikian akurasi economic dispatch menurun. Penurunan akurasi ini karena losses transmisi

ditimbulkan oleh aliran daya yang ada pada sistem, di mana aliran daya ini ditentukan oleh pembangkit mana yang ON dalam suatu sistem. Pada



pembahasan dengan kerugian transmisi diabaikan, sistem digambarkan pada gambar 2.1.

Secara matematis, masalah ini dapat dijelaskan secara singkat, yaitu fungsi objek  $F_T$  adalah total biaya untuk memasok beban. Untuk meminimalkan biaya pembangkitan ( $F_T$ ) dengan kendala bahwa jumlah daya yang dihasilkan harus sama dengan beban yang diterima dengan catatan bahwa rugi transmisi diabaikan. maka persamaannya adalah :

$$F_T = F_1 + F_2 + F_3 + \dots + F_N \dots \dots \dots (2.2)$$

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

dimana :

$F_T$  = total biaya pembangkitan (Rp).

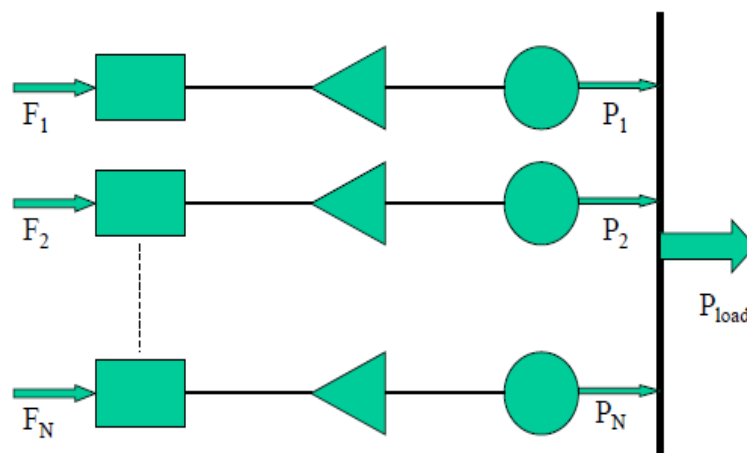
$F_i(P_i)$  = fungsi biaya input-output dari pembangkit  $i$  (Rp/jam).

$a_i, b_i, c_i$  = koefisien biaya dari pembangkit  $i$ .

$P_i$  = output pembangkit  $i$  (MW)

$n$  = jumlah unit pembangkit.

$I$  = indeks dari dispatchable unit





Gambar 2.4 N pembangkit thermal yang melayani beban  $P_{load}$  [6]

Kendala optimasi ini dapat dipecahkan dengan menggunakan metode kalkulus lanjut yang berhubungan dengan fungsi Lagrange. Dalam menetapkan kondisi-kondisi yang diperlukan untuk suatu nilai ekstrim dari suatu fungsi objek, tambahkan fungsi kendala pada fungsi objektif setelah fungsi kendala dikalikan dengan bilangan yang belum diketahui. Hal ini disebut dengan fungsi Lagrange, yang dapat dilihat pada persamaan :

$$L = F_T + \lambda \phi \dots \dots \dots (2.3)$$

Kondisi yang diperlukan untuk nilai ekstrim dari hasil fungsi objektif dapat dihasilkan ketika menggunakan turunan pertama dari fungsi Lagrange dengan memperhatikan tiap variabel independen dan set turunan sama dengan nol. Dalam kasus ini ada  $N + 1$  variabel, Nilai  $N$  adalah daya keluaran,  $P_i$  ditambahkan dengan pengali Lagrange,  $\lambda$  [6].

### 2.7. Rugi-Rugi Pada Saluran Transmisi

Saluran transmisi merupakan sistem yang kompleks yang memiliki karakteristik yang berubah-ubah secara dinamis sesuai keadaan sistem itu sendiri. Perubahan ini dapat menimbulkan beberapa masalah bila tidak segera diantisipasi. Masalah yang dapat timbul pada saluran transmisi diantaranya ialah:

1. Penyaluran perubahan frekuensi sistem
2. Pengaruh dari ayunan daya pada sistem
3. Pengaruh gangguan pada sistem transmisi

Setiap tipe kabel memiliki tahanan listrik yang menghambat laju arus listrik. Begitu pula pada bahan isolasi yang digunakan untuk memisahkan kedua penghantar memiliki suatu nilai tahanan isolasi (insulation resistance) yang

hambatan arus mengalir dengan jumlah kecil diantara penghantar. Oleh karena



itu, setiap saluran transmisi memiliki rugi-rugi. Secara umum, rugi-rugi daya pada saluran transmisi dapat dinyatakan pada persamaan berikut:

$$PL = I^2R \dots \dots \dots (2.4)$$

Rugi-rugi yang dimaksudkan ialah adanya penurunan dari sinyal daya yang dikirimkan. Dapat dikatakan bahwa rugi-rugi merupakan fungsi dari frekuensi. Tegangan maupun arus merupakan sinyal yang merambat disepanjang transmisi. Sinyal ini akan mengalami penurunan seiring dengan jarak transmisi yang semakin panjang atau dengan kata lain mengalami atenuasi (pelemahan) seiring dengan bertambahnya jarak propagasi [7].

## 2.8 Gravitational Search Alogarithm

GSA adalah algoritma heuristik yang ditemukan oleh Rashedi (2009). Algoritma ini diinspirasi dari fenomena alam yakni hukum gravitasi dan tarik menarik massa. Hukum gravitasi menyatakan bahwa setiap partikel yang memiliki massa menarik satu sama lain dengan gaya gravitasi sehingga menyebabkan perpindahan partikel menuju massa yang lebih besar. Fenomena gravitasi yang menyebabkan perpindahan suatu benda menuju keseimbangan telah diadopsi menjadi sebuah algoritma yang disebut dengan GSA. Dalam GSA, posisi partikel yang memiliki massa merepresentasikan solusi permasalahan[8].

Gravitational Search Algorithm (GSA) merupakan algoritma heuristik baru yang diinspirasi dari hukum gravitasi dan hukum perpindahan benda menuju pada posisi seimbang. Hukum gravitasi menyatakan bahwa setiap partikel yang memiliki massa saling menarik satu sama lain. Hal ini menyebabkan adanya perpindahan partikel menuju partikel lain yang memiliki massa lebih besar. Sebagai algoritma heuristik, GSA memiliki kemampuan yang bagus dalam

global. Namun jika konvergensi terlalu dini terjadi, algoritma ini dalam kemampuannya dalam pencarian. Untuk memperbaiki kemampuan

