

**ANALISIS PENGARUH PERUBAHAN BEBAN TERHADAP BIAYA  
BAHAN BAKAR PEMBANGKITAN  
(Studi Kasus pada PLTU Tarahan lampung Unit 3 dan 4)**

**(Skripsi)**

**Oleh**

**RAHMATTULLOH**



**JURUSAN TEKNIK ELEKTRO  
FAKULTAS TEKNIK  
UNIVERSITAS LAMPUNG  
BANDAR LAMPUNG  
2016**

## **ABSTRAK**

### **ANALISIS PENGARUH PERUBAHAN BEBAN TERHADAP BIAYA BAHAN BAKAR PEMBANGKITAN (Studi Kasus Pada PLTU Tarahan Lampung Unit 3 dan 4)**

**Oleh**

**Rahmattulloh**

Kemampuan melayani beban menentukan keandalan sistem tenaga listrik, sehingga besar daya yang dibangkitkan harus sama dengan besar kebutuhan di sisi beban. Pada unit pembangkit, penambahan beban akan mendorong penambahan bahan bakar per satuan waktu dan pada akhirnya akan meningkatkan pertambahan biaya per satuan waktu, yang biasa disebut *input output* pembangkit tenaga listrik. *Input* pembangkit merupakan kebutuhan energi panas dalam bentuk Mbtu/h sedangkan *output* merupakan daya keluaran yang memiliki batas-batas daya operasi yaitu daya minimum dan maksimum.

Pembagian beban diantara unit-unit pembangkit perlu dilakukan agar dicapai biaya bahan bakar yang minimum istilah ini bisa disebut *economic dispatch*. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh perubahan beban terhadap biaya bahan bakar pembangkitan dengan menerapkan *regresi polinom orde 2*. Pertambahan biaya bahan bakar akibat dari perubahan beban biasa dikenal dengan istilah *incremental cost*, pertambahan biaya (*incremental cost*) dinyatakan dalam bentuk Rp/MWh.

**Kata kunci:** *biaya bahan bakar pembangkit, economic dispatch, input output pembangkit*

## **ABSTRACT**

### **ANALYSIS INFLUENCE CHANGE LOAD AGAINST FUEL COST OF POWER PLANT**

**(Case Study In PLTU Tarahan Lampung Units 3 and 4)**

**By:**

**Rahmattulloh**

The ability serving burden determine the reliability of workers system electricity, so great power raised to be the same with large needs in side burden. In units of steam power plants, addition burden will encourage addition fuel per unit time and finally improve increase the cost per unit time, commonly called input output power plant. Input power station was the heat energy in the form of Mbtu/h while output became an output having the limits of power operation that is the minimum and maximum.

The division of burden of units power station need to be done to achieved a charge of fuel is minimum the term is could be called economic dispatch. Research aims to understand the influence of change load against fuel cost whenever by applying regression polynomial order 2. In fuel cost due to changes in the burden of ordinary known with the term incremental cost, increase the cost ( incremental cost of expressed in the form of Rp/MWh

**Key words:** *fuel cost power plants, economic dspatch, input output power generation.*

**ANALISIS PENGARUH PERUBAHAN BEBAN TERHADAP BIAYA  
BAHAN BAKAR PEMBANGKITAN  
(Studi Kasus pada PLTU Tarahan Lampung Unit 3 dan 4)**

**Oleh**

**RAHMATTULLOH**

**Skripsi**

**Sebagai Salah Satu Syarat untuk Mencapai Gelar**

**SARJANA TEKNIK**

**Pada**

**Program Studi Teknik Elektro**

**Fakultas Teknik Universitas Lampung**



**JURUSAN TEKNIK ELEKTRO FAKULTAS TEKNIK  
UNIVERSITAS LAMPUNG  
BANDAR LAMPUNG  
2016**

Judul Skripsi : **ANALISIS PENGARUH PERUBAHAN  
BEBAN TERHADAP BIAYA BAHAN BAKAR  
PEMBANGKITAN (Studi Kasus pada PLTU  
Tarahan Lampung Unit 3 dan 4)**

Nama Mahasiswa : **Rahmattulloh**

Nomor Pokok Mahasiswa : 0815031083

Jurusan : Teknik Elektro

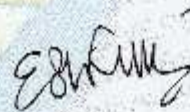
Fakultas : Teknik

**MENYETUJUI**

1. Komisi Pembimbing



**Herri Gusmedi, S.T., M.T.**  
NIP 19710813 199903 1 003



**Dr. Eng Endah Komalasari, S.T., M.T.**  
NIP 19730215 199903 2 003

2. Ketua Jurusan Teknik Elektro



**Dr. Ing. Ardian Ulvan, S.T., M.Sc.**  
NIP 19731128 199903 1 005

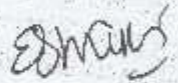
**MENGESAHKAN**

**1. Tim Penguji**

**Ketua : Herri Gusmedi, S.T., M.T.**



**Sekretaris : Dr. Eng Endah Komalasari, S.T., M.T.**



**Penguji  
Bukan Pembimbing : Dr. Eng Lukmanul Hakim, S.T., M.Sc.**



**2. Dekan Fakultas Teknik**



**Prof. Suharno, M.Sc., Ph.D.**  
**NIP 19620717 198703 1 002**



**Tanggal Lulus Ujian Skripsi : 23 Desember 2015**

## SURAT PERNYATAAN

Dengan ini saya menyatakan bahwa dalam skripsi ini tidak terdapat karya yang pernah dilakukan orang lain, dan sepanjang pengetahuan saya juga tidak terdapat karya atau pendapat yang ditulis atau diterbitkan oleh orang lain, kecuali yang secara tertulis diacu dalam naskah ini sebagaimana disebutkan dalam daftar pustaka, selain itu saya menyatakan pula bahwa skripsi ini dibuat oleh saya sendiri.

Apabila pernyataan saya ini tidak benar maka saya bersedia dikenai sanksi sesuai dengan hukum yang berlaku.

Bandar Lampung, 27 Juni 2016



*Rahmattulloh*

**Rahmattulloh**  
0815031083

## **RIWAYAT HIDUP**



Penulis adalah anak kelima dari enam bersaudara yang dilahirkan dari pasangan Bapak Barjo Hadi Sutikno dan Ibu Wantini.

Pendidikan formal penulis dimulai dari Sekolah Dasar Negeri (SDN) 2 Cilegon Banten yang diselesaikan pada tahun 2002. Kemudian pendidikan dilanjutkan ke Sekolah Menengah Pertama (SMP) 5 Cilegon Banten yang diselesaikan pada tahun 2005.

Selanjutnya pendidikan dilanjutkan ke Sekolah Menengah Atas (SMA) 2 Krakatau Steel Cilegon Banten yang diselesaikan pada tahun 2008.

Pada tahun 2008, penulis terdaftar sebagai mahasiswa jurusan Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Lampung melalui jalur Seleksi Nasional Masuk Perguruan Tinggi Negeri (SNMPTN). Selama menjadi mahasiswa, penulis aktif dalam dunia organisasi kampus yaitu Himpunan Mahasiswa Teknik Elektro (HIMATRO)



## MOTTO

*Ketika anda tidak mau mencoba hanya karena takut gagal, sebenarnya perasaan takut itu adalah sebuah kegagalan yang sudah pasti anda alami*

*Banyak kegagalan dalam hidup dikarenakan orang-orang tidak menyadari betapa dekatnya mereka dengan keberhasilan saat mereka menyerah*

*Kebanggaan kita yang terbesar adalah bukan tidak pernah gagal, tetapi bangkit kembali setiap kali kita jatuh*

*Dengan Kerendahan Hati yang Tulus, bersama Keridhaan-Mu  
Ya Allah,  
Kupersembahkan karya tulis ini untuk yang tersayang :*

*Skripsi ini kupersembahkan untuk:*

- 1. Bapak dan Mama tercinta, Barjo hadi Sutikno dan Wantini yang telah memberikan kasih sayang, doa, dan semua pemberian yang tiada henti. Yang juga selalu memberikan semangat moril maupun materil dalam penyelesaian skripsi dan perkuliahan ku.*
- 2. Kakak ku, Eko Purwanto, S.T., Yulie Purwanti, A.Md, Alex Purwanto, A.Md, Deni Purwanto, S.S serta adik ku Apriani yang selalu memberikan motivasi sendiri kepadaku dan yang selalu bisa membuat senyum dan tawa.*

## SANWACANA

Alhamdulillah, puji syukur penulis panjatkan kehadirat Allah Subhanahu Wa Ta'ala atas segala karunia, hidayah, serta nikmat yang diberikan sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi tugas akhir yang berjudul “ANALISIS PENGARUH PERUBAHAN BEBAN TERHADAP BIAYA BAHAN BAKAR PEMBANGKITAN (STUDI KASUS PADA PLTU TARAHAN LAMPUNG UNIT 3 DAN 4)”. Penyusunan skripsi merupakan syarat memperoleh gelar Sarjana Teknik pada Jurusan Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Lampung.

Dalam penyusunan skripsi ini Penulis banyak mendapat bantuan baik ilmu, materil, petunjuk, bimbingan dan saran dari berbagai pihak. Untuk itu pada kesempatan ini, Penulis ingin menyampaikan ucapan terima kasih kepada:

1. Bapak Prof. Suharno, M.sc.,Ph.D selaku Dekan Fakultas Teknik Universitas Lampung.
2. Bapak Dr. Ing. Ardian Ulvan, S.T.,M.Sc. selaku Ketua Jurusan Teknik Elektro Universitas Lampung.
3. Bapak Herri Gusmedi, S.T.,M.T. selaku dosen pembimbing I yang telah banyak meluangkan waktu untuk memberikan bimbingan, pengetahuan, motivasi, kritik dan saran, moril kepada penulis selama penyelesaian tugas akhir ini.

4. Ibu Dr. Eng. Endah Komalasari, S.T.,M.T. selaku dosen pembimbing II yang telah banyak meluangkan waktu memberikan bimbingan, penjelasan, diskusi, ilmu dan selalu mendukung penulis dalam penyelesaian tugas akhir ini.
5. Bapak Dr. Eng Lukmanul Hakim, S.T.,M.Sc. selaku dosen penguji tugas akhir yang telah banyak memberikan kritik dan saran dan selalu mendukung penulis dalam penyelesaian tugas akhir ini.
6. Bapak Dr. Eng Lukmanul Hakim, S.T.,M.Sc. selaku dosen pembimbing akademik yang telah memberikan motivasi kepada penulis selama berkuliah di Jurusan Teknik Elektro Universitas Lampung.
7. Bapak Dr. Herman Halomoan Sinaga, S.T.,M.T. selaku Sekretaris Jurusan Teknik Elektro.
8. Seluruh dosen mata-kuliah Jurusan Teknik Elektro atas semua ilmu, didikan, dan bimbingan yang penulis peroleh selama perkuliahan, mohon maaf juga apabila selama ini terkadang membuat kesalahan dan mengecewakan.
9. Mba Ning dan staf administrasi lainnya, terima kasih untuk bantuannya selama ini.
10. Bapak dan Ibuku atas semua jerih payah dan doanya selama ini.
11. Kakakku, Eko Purwanto, S.T., Yulie Purwanti, A.Md, Alex Purwanto, A.Md, Deni Purwanto, S.S serta adikku Apriani yang senantiasa memberikan dukungan moral maupun materil.
12. Kawan-kawan Loreng Hitam Giri Woryanto, Sigit Barazili, M. Rizky Wiguna Utama, Ahmad Khuamedi, Yudhy Wiranatha, Perdana Agung, Aris Susilo, Indra Aditama, Adam Hussein, Zainal Abidin, Rahmattulloh, Eko Warsiyanto, M. Ridho, Tuntas Erdeka, Ujang Faturahman, Aferdi Siswa, Rahmat Hidayat yang terkadang direpotkan yang saya lakukan pada masa perkuliahan.

13. Sahabat perjuangan 2008, (Nora, Koko, Firman, Dinan, Adi, Jeni, Cahyadi, Fajar, Marta, Sate, Felix, Use, Rudi., Audli, Ade Wahyu, Reza, Pujo, Arya, Hasron, Ridolf, Yogi, Syuhada, Olil, Andre, fegi, Arif, Taufik, MIP Deka, dll) yang sudah menjadi saudara dan mengisi hari-hari selama kuliah ada saat susah maupun senang, semoga semua ini bertahan sampai kapanpun.
14. Para wanita tangguh yang menamakan mereka dengan “eight pearls” 2008, Anisa Prativi , Yuly, Novia , Ayu, Palupi, Barokatun , Rita Lia.
15. Para Manusia Nocturnal Penghuni Laboratorium Terpadu Teknik Elektro mulai dari lantai 1 sampai lantai 3 yang tidak bisa disebutkan satu persatu, terimakasih sudah menjadi teman belajar dan bertanya dalam penyelesaian skripsi.
16. Semua pihak yang telah membantu serta mendukung Penulis dalam segala hal yang tidak dapat disebutkan satu per satu dan rekan-rekan Teknik Elektro yang telah membantu serta mendukung penulis dari awal hingga akhir perkuliahan.

Semoga Allah Subhanahu wata'ala membalas dengan kebaikan.

Bandar Lampung, Juni 2016

Penulis

**Rahmattulloh**

## DAFTAR ISI

	Halaman
<b>SANWACANA</b> .....	i
<b>DAFTAR ISI</b> .....	iv
<b>DAFTAR GAMBAR</b> .....	vi
<b>DAFTAR TABEL</b> .....	vii
<b>BAB I. PENDAHULUAN</b>	
A. Latar Belakang .....	1
B. Tujuan Penelitian .....	3
C. Rumusan Masalah .....	3
D. Pembatasan Masalah .....	4
E. Manfaat Penelitian .....	4
F. Sistematika Penulisan .....	4
<b>BAB II. TINJAUAN PUSTAKA</b>	
A. Operasi Ekonomis Sistem Tenaga .....	6
B. Pembangkit Listrik Tenaga Uap .....	13
C. Laju Panas Pembangkit ( <i>Heat Rate</i> ).....	17
D. Karakteristik Pembangkit.....	18
<b>BAB III METODE PENELITIAN</b>	
A. Waktu dan Tempat .....	22
B. Alat dan Bahan .....	22
C. Metode Penelitian.....	23
D. Algoritma Perhitungan .....	26
E. Diagram Alir Penelitian .....	27

**BAB IV. HASIL DAN PEMBAHASAN**

A. Laju Panas Pembangkit ( <i>Heat Rate</i> ) .....	28
B. Hasil dan Analisa .....	30
1. Persamaan Laju Panas Pembangkit ( <i>Heat Rate</i> ) Unit 3 .....	30
2. Fungsi Masukan Keluaran Generator Unit 3 .....	31
3. Kurva Input Output Pembangkit Unit 3 .....	32
4. Pertambahan Biaya Bahan Bakar ( <i>Incremental Cost</i> ) Unit 3 .....	35
5. Persamaan Laju Panas Pembangkit ( <i>Heat Rate</i> ) Unit 4 .....	38
6. Fungsi Masukan Keluaran Generator Unit 4 .....	39
7. Kurva Input Output Pembangkit Unit 4 .....	40
8. Pertambahan Biaya Bahan Bakar ( <i>Incremental Cost</i> ) Unit 4 .....	42

**BAB V. KESIMPULAN DAN SARAN**

A. Kesimpulan .....	47
B. Saran.....	48

**DAFTAR PUSTAKA****LAMPIRAN A****LAMPIRAN B**

## DAFTAR GAMBAR

Gambar	Halaman
1. Siklus Rankine Ideal .....	14
2. Kurva Karakteristik <i>Input Output Unit Thermal</i> .....	19
3. Karakteristik Laju Panas .....	20
4. Karakteristik kenaikan panas .....	20
5. Kurva <i>Input-output</i> Januari-Maret 2015 Unit 3 .....	33
6. Kurva <i>Input-Output</i> April-Juni 2015 Unit 3 .....	33
7. Kurva <i>Input Output</i> Juli-September 2015 Unit 3 .....	33
8. Kurva <i>Incremental Cost</i> Januari-Maret 2015 Unit 3 .....	36
9. Kurva <i>Incremental Cost</i> April–Junii 2015 Unit 3.....	37
10. Kurva <i>Incremental Cost</i> Juli–September 2015 Unit 3 .....	37
11. Kurva <i>Input output</i> Januari -Maret 2015 Unit 4 .....	41
12. Kurva <i>Input-output</i> April-Juni 2015 Unit 4 .....	42
13. Kurva <i>Input Output</i> Juli-September 2015 Unit 4.....	43
14. Kurva <i>Incremental Cost</i> Januari-Maet 2015 Unit 4.....	44
15. Kurva <i>Incremental Cost</i> April – Maret 2015 Unit 4.....	45
16. Kurva <i>Incremental Cost</i> Juli-September 2015 Unit 4.....	46



**DAFTAR TABEL**

Tabel	Halaman
4.1 Laju Panas Pembangkit ( <i>heat rate</i> ) Pembangkit unit 3 dan 4 .....	29
4.2 Pembangkit Unit 3 .....	30
4.3 Persamaan Laju Panas Pembangkit ( <i>Heat Rate</i> ).....	31
4.4 Fungsi Masukan Keluaran Generator Pembangkit Unit 3 .....	31
4.5 Daya <i>Output</i> Generator Minimum dan Maksimum Pembangkit Unit 3 ....	32
4.6 Penambahan Biaya ( <i>incremental cost</i> ) Pembangkit Unit 3.....	36
4.7 Pembangkit Unit 4 .....	38
4.8 Persamaan Laju Panas Pembangkit ( <i>Heat Rate</i> ) Pembangkit unit 4 .....	39
4.9 Fungsi Masukan Keluaran Generator Pembangkit Unit 4 .....	40
4.10 <i>Output</i> Generator Minimum dan maksimum pembangkit unit 4.....	40

## **BAB I. PENDAHULUAN**

### **A. Latar Belakang**

Energi listrik yang dibangkitkan tidak dapat disimpan dalam skala besar, karenanya energi ini harus disediakan pada saat dibutuhkan. Daya yang dibangkitkan harus selalu sama dengan daya yang digunakan oleh konsumen. Akibatnya timbul persoalan bagaimana suatu sistem tenaga listrik harus dioperasikan agar dapat memenuhi permintaan daya yang berubah setiap saat, dengan kualitas baik dan harga yang murah. Faktor-faktor yang mempengaruhi pengiriman daya nyata yang optimal pada pembangkit adalah beroperasinya generator yang efisien, biaya bahan bakar, dan rugi-rugi daya pada saluran transmisi. Banyak generator yang beroperasi secara efisien tetapi tidak menjamin biaya operasinya minimum, dikarenakan biaya bahan bakar yang terlampaui tinggi.

Pengoperasian suatu pembangkit sangat tergantung pada bahan bakar, dengan demikian hal tersebut perlu mendapatkan perhatian khusus karena sebagian besar biaya operasi yang dikeluarkan adalah untuk keperluan bahan bakar. Biaya bahan bakar sebuah unit pembangkit merupakan fungsi beban suatu pembangkit. Kemampuan memikul beban menentukan keandalan sistem listrik, sehingga selalu diupayakan besar daya yang dibangkitkan harus sama dengan

kebutuhan di sisi beban setiap saat. Pada unit pembangkit yang berbahan bakar fosil, penambahan beban akan mendorong penambahan kuantitas bahan bakar per satuan waktu yang akan meningkatkan pertambahan biaya per satuan waktu. Fluktuasi kebutuhan energi listrik disisi beban akan menimbulkan fluktuasi perubahan biaya bahan bakar, berkaitan dengan hal tersebut perlu ditentukan pola korelasi keduanya yang biasa disebut *input output* pembangkit tenaga listrik.

Sistem tenaga listrik yang besar seperti Pembangkit Listrik Tenaga Uap (PLTU) akan menghadapi permasalahan dalam hal biaya bahan bakar untuk pengoperasiannya. Oleh karena itu perlu dilakukan suatu upaya untuk mengurangi biaya operasi melalui pengurangan biaya bahan bakar sampai pada tingkat minimum. Metode untuk memproduksi dan mendistribusikan tenaga listrik secara ekonomis sedang dipelajari secara intensif oleh peneliti-peneliti yang berkecimpung dalam persoalan ini. Permasalahannya kemudian bagaimana mengatur pembebanan pembangkit tenaga listrik tersebut, sehingga jumlah energi listrik yang dibangkitkan sesuai kebutuhan dan biaya produksi menjadi seminimal mungkin [1].

Dalam suatu sistem tenaga listrik, unit-unit pembangkit tidak berada dalam jarak yang sama dari pusat beban dan biaya pembangkitan tiap-tiap pembangkit pun berbeda. Pada kondisi operasi normal sekalipun, kapasitas pembangkitan harus lebih besar dari jumlah beban dan rugi-rugi daya pada sistem. Oleh karena itu, perlu dilakukan suatu pengaturan terhadap pembangkitan. Analisis aliran daya optimal adalah suatu perhitungan untuk meminimalkan suatu fungsi tujuan seperti biaya pembangkitan. Aliran daya optimal biasa dikenal dengan

istilah *Economic Dispatch*. *Economic Dispatch* adalah pembagian pembebanan pada tiap unit pembangkit yang ada dalam sistem secara optimal ekonomi pada harga beban sistem tertentu. Dengan penerapan *economic dispatch*, maka akan didapatkan biaya pembangkitan yang minimum terhadap biaya produksi daya listrik yang dibangkitkan unit-unit pembangkit pada suatu sistem kelistrikan.

## **B. Tujuan Penelitian**

Tujuan dari penelitian tugas akhir ini adalah:

1. Untuk mengetahui dan menghitung pengaruh perubahan beban terhadap biaya bahan bakar pembangkitan pada PLTU Tarahan Lampung.
2. Menentukan Kurva input output pembangkit PLTU Tarahan Unit 3 dan 4.
3. Menentukan Kurva *incremental cost* pembangkit Tarahan unit 3 dan 4.

## **C. Rumusan Masalah**

Dalam tugas akhir ini yang menjadi rumusan masalah adalah

1. Bagaimana menghitung *incremental cost* bahan bakar akibat perubahan beban.
2. Bagaimana menentukan kurva input-output pembangkit.
3. Bagaimana menentukan kurva *incremental cost* pembangkit.

#### **D. Pembatasan Masalah**

Dalam penulisan tugas akhir ini, dilakukan pembatasan masalah sebagai berikut:

1. Analisis pengaruh perubahan beban hanya dilakukan terhadap konsumsi bahan bakar, energi yang dibangkitkan dan harga bahan bakar.
2. Menghitung *Marginal Cost/Incremental Cost*.

#### **E. Manfaat Penelitian**

Manfaat yang didapat dari penelitian ini adalah:

1. Dapat mengetahui harga biaya bahan bakar akibat dari perubahan beban.
2. Dapat mengetahui total pemakaian bahan bakar serta energi yang dihasilkan PLTU Tarahan Lampung.

#### **F. Sistematika Penulisan**

Laporan skripsi ini dibagi menjadi lima bab. Sistematika penulisan laporan skripsi ini adalah sebagai berikut:

##### **BAB I : PENDAHULUAN**

Bab ini membahas tentang latar belakang penelitian, maksud dan tujuan penelitian, rumusan masalah penelitian, batasan masalah penelitian dan manfaat penelitian.

## BAB II : TINJAUAN PUSTAKA

Bab ini memuat berbagai teori yang berkaitan dengan pengaruh perubahan beban terhadap biaya bahan bakar pembangkit.

## BAB III : METODE PENELITIAN

Bab ini meliputi waktu, tempat, alat dan bahan yang akan digunakan dalam melakukan penelitian, serta metode penelitian dan diagram alir penelitian.

## BAB IV : HASIL DAN PEMBAHASAN

Bab ini menjelaskan hasil dan pembahasan penelitian tentang pengaruh perubahan beban terhadap biaya bahan bakar pembangkit pada PLTU Tarahan unit 3 dan 4.

## BAB V : KESIMPULAN DAN SARAN

Bab ini menjelaskan kesimpulan dari penelitian yang sudah dilakukan serta saran yang membangun bagi semua pihak.

### Daftar Pustaka

Berisi buku acuan yang digunakan dalam pembuatan laporan skripsi ini.

## **BAB II. TINJAUAN PUSTAKA**

### **A. Operasi Ekonomis Sistem Tenaga**

Faktor yang mempengaruhi kurangnya biaya pada suatu sistem pembangkit listrik adalah efisiensi dari sebuah generator, biaya bahan bakar, dan rugi-rugi pada jaringan transmisi. Hampir semua generator yang dioperasikan dengan biaya mahal disebabkan karena generator tersebut berada pada daerah dimana bahan bakarnya mahal. Selain itu, pembangkit yang letaknya jauh dari pusat beban juga tidak terlalu efisien karena rugi-rugi transmisi yang sangat besar. Dengan demikian pembangkit tersebut tidak ekonomis.

Biaya operasi dari suatu sistem pembangkit tenaga listrik merupakan biaya terbesar dalam pengoperasian suatu perusahaan pembangkit tenaga listrik. Biaya yang dikeluarkan oleh suatu sistem ditentukan oleh biaya investasi dan biaya operasi pembangkit. Biaya bahan bakar merupakan biaya operasi pembangkit yang dioperasikan pada sistem. Output pembangkit yang dihasilkan selalu diupayakan sama dengan besar kebutuhan disisi beban. Perubahan kebutuhan energi listrik disisi beban akan menimbulkan fluktuasi biaya bahan bakar, korelasi keduanya disebut *input output* suatu pembangkit tenaga listrik. Penyaluran daya dari pembangkit dalam suatu sistem sangat berkaitan dengan biaya produksi pembangkit listrik. Biaya yang paling besar dari pembangkit

listrik adalah biaya bahan bakar. Biasanya biaya bahan bakar dihitung dalam \$/h atau Rp/h sebagai fungsi dari besarnya daya yang dibangkitkan dalam MW

Biaya operasi yang sangat tinggi mengharuskan manajemen penyedia listrik untuk melakukan cara yang tepat didalam mengoperasikan pembangkit-pembangkit listrik tersebut. Dalam pengoperasian pembangkit diperlukan suatu metode untuk menekan biaya operasi suatu pembangkit, sehingga diperoleh suatu pengoperasian pembangkit yang optimal untuk menekan biaya operasi.

Optimalisasi aliran daya merupakan salah satu masalah dalam analisa sistem tenaga yang berperan penting dalam analisa perencanaan sistem tenaga baik dalam pengadaan sistem yang baru maupun pengembangan sistem yang telah ada. Optimisasi aliran daya sebagai suatu studi sistem tenaga memberikan banyak informasi yang antara lain berupa sudut fasa tegangan tiap bus dan informasi lain. Aliran daya dapat juga dipakai untuk memperoleh kondisi awal pada analisa kestabilan.

Pengoperasian sistem yang efisien sangat penting dampaknya hingga dapat menjamin hubungan yang pantas antara biaya yang dikeluarkan oleh perusahaan listrik untuk memproduksi satu kilowatt jam dengan biaya yang harus dibayar oleh pelanggan. Faktor ekonomi yang dominan dalam operasi sistem tenaga adalah biaya bahan bakar pembangkit. Biaya bahan bakar pada umumnya merupakan komponen biaya terbesar kira-kira 60% dari keseluruhan biaya operasi<sup>[2]</sup>. Pengendalian biaya operasi ini merupakan hal yang pokok, optimalisasi sebesar 1% saja untuk sistem yang berskala besar dapat menghasilkan dalam orde milyaran rupiah pertahun.



Pembangkit-pembangkit yang ada saat ini sebagian besar menggunakan pembangkit hidro dan termis. Walaupun jenis pembangkit lain juga ikut andil didalam memproduksi energi listrik. Manajemen sistem pembagian beban antara satu pembangkit dengan pembangkit lain harus dilakukan seefektif mungkin untuk mendapatkan biaya operasi seminimal mungkin tanpa mengabaikan batasan minimal pembangkitan suatu unit pembangkit listrik. Biaya operasi yang sangat tinggi menghruskan manajemen penyedia listrik untuk melakukan cara yang tepat didalam mengoperasikan pembangkit-pembangkit listrik tersebut.

Dalam pengoperasian pembangkit diperlukan suatu metode untuk menekan biaya bahan bakar suatu pembangkit. Pengoperasian unit-unit pembangkit pada permintaan daya tertentu dalam suatu stasun dilakukan dengan mendistribusikan beban diantara unit-unit pembangkit dalam stasiun tersebut. Unit pembangkit dalam suatu stasiun mempunyai karakteristik yang berbeda-beda sehingga diperlukan suatu penjadwalan pengoperasian setiap unit pembangkit untuk suatu pembebanan ekonomis tertentu pada sistem dengan mempertimbangkan kehilangan daya pada saluran transmisi. Dengan demikian dapat diperoleh suatu pengoperasian pembangkit yang optimal untuk menekan biaya bahan bakar.

Pembagian beban pembangkit dalam suatu operasi sistem tenaga listrik merupakan hal yang penting untuk mencapai suatu operasi yang optimal. Diperlukan koordinasi dalam penjadwalan pembebanan besar daya listrik yang dibangkitkan masing-masing pusat pembangkit listrik, sehingga diperoleh biaya pembangkit yang minimum. Penanganan biaya bahan bakar pembangkit

bisa diminimalkan dengan mencari kombinasi yang tepat dari unit pembangkit yang ada, hal ini dikenal dengan pengaturan unit pembangkit. Pada pengaturan unit akan dibuat skema urutan prioritas, yaitu metode pengoperasian unit pembangkit berdasarkan total biaya rata-rata bahan bakar yang paling murah.

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

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

Dalam pengoperasian sistem tenaga listrik yang terdiri dari beberapa pusat pembangkit listrik, diperlukan suatu koordinasi didalam penjadwalan pembebanan besar daya listrik yang dibangkitkan masing-masing pusat pembangkit listrik agar didapatkan suatu pembebanan yang optimal atau dikenal dengan lebih ekonomis. Permasalahan yang harus diselesaikan dalam operasi ekonomis pembangkitan pada sistem tenaga listrik yaitu pengaturan unit pembangkit dan penjadwalan ekonomis (*economic dispatch*). *Unit commitment* bertujuan untuk menentukan unit pembangkit yang paling

optimum dioperasikan dalam menghadapi beban yang diperkirakan untuk mencapai biaya bahan bakar minimum, sedangkan *economic dispatch* digunakan untuk membagi beban diantara unit-unit thermal yang beroperasi agar dicapai biaya bahan bakar yang minimum.

Analisis daya optimal untuk meminimalkan biaya pembangkitan biasa dikenal dengan istilah *Economic Dispatch*. *Economic Dispatch* adalah pembagian pembebanan pada unit-unit pembangkit yang ada dalam sistem secara optimal ekonomi pada harga beban sistem tertentu. Dengan penerapan *economic dispatch* maka akan didapatkan biaya pembangkitan yang minimum terhadap produksi daya listrik yang dibangkitkan unit-unit pembangkit pada suatu sistem kelistrikan. Solusi dari masalah *economic dispatch* telah menjadi perhatian para peneliti dengan berbagai metode baik secara *deterministik* maupun *undeterministik*. Solusi deterministik dalam masalah *economic dispatch* seperti metode Lagrange, iterasi lamda dan *base point* sedangkan untuk *undeterministik* berdasarkan pendekatan *heuristik* seperti *particle swarm optimization* dan *genetic algorithm*.

Penyelesaian masalah operasi ekonomis pembangkit dalam sistem tenaga listrik yaitu menentukan unit-unit pembangkit untuk mensuplai kebutuhan beban dengan biaya yang optimum dengan memperhatikan batas-batas daya yang dibangkitkan

*Economic Dispatch* merupakan pembagian pembebanan pada setiap unit pembangkit sehingga diperoleh biaya operasional tiap unit pembangkit yang ekonomis dengan menggunakan batasan *equality* dan *inequality constraints*.

Fungsi biaya dari tiap generator dapat diformulasikan secara matematis sebagai suatu fungsi obyektif seperti pada persamaan:

$$F_T = \sum_{i=1}^N H(P_i) \quad (2.1)$$

Dimana

$F_T$  = Besarnya total biaya pada generator/pembangkit

$H(P_i)$  = Fungsi input-output dari pembangkit

$N$  = Jumlah unit generator

Karakteristik input output pembangkit adalah karakteristik yang menggambarkan hubungan antara input bahan bakar dan output yang dihasilkan oleh pembangkit. Secara umum karakteristik input output pembangkit didekati dengan fungsi polinomial orde dua yaitu:

$$H(P_i) = a + bP_i + cP_i^2 \quad (2.2)$$

dimana :

$H(P_i)$  = Input bahan bakar pembangkit (Mbtu/h)

$P_i$  = Output daya pembangkit (MW)

$a, b, c$  = Konstanta persamaan input-output pembangkit ke- $i$

penentuan konstanta  $a, b, c$  membutuhkan data yang diperoleh dari hasil percobaan yang berhubungan dengan input bahan bakar  $H_i$  (rupiah/jam) dan output pembangkit  $P_i$  (MW).

Salah satu metode konvensional yang umum digunakan untuk menyelesaikan masalah optimasi biaya atau *economic dispatch* adalah metode *lagrange*. Metode Lagrange terbagi dua yaitu losses diabaikan dan losses diperhitungkan. Dalam sistem tenaga, kerugian transmisi merupakan kehilangan dayayang harus ditanggung oleh sistem pembangkit, jadi kerugian transmisi ini merupakan beban bagi sistem tenaga.

Pendekatan yang khas pada metoda *Lagrange* untuk ditambahkan dalam fungsi objektif disebut dengan faktor pengali *Lagrange*, persamaan faktor pengali *Lagrange* dituliskan pada persamaan dibawah ini:

$$\mathcal{L} = F_T + \lambda (P_R - \sum_{i=1}^N P_i) \quad (2.3)$$

Persamaan *Lagrange* tersebut merupakan fungsi dari output pembangkit, keadaan optimum dapat diperoleh dari persamaan *Lagrange* sama dengan nol.

$$\frac{\partial \mathcal{L}}{\partial P_i} = \frac{\partial F_T}{\partial P_i} + \lambda \left( \frac{\partial P_R}{\partial P_i} - \frac{\partial P_i}{\partial P_i} \right) = 0 \quad (2.4)$$

$$\frac{\partial F_T}{\partial P_i} + \lambda (0 - 1) = 0 \quad (2.5)$$

$$\frac{\partial F_T}{\partial P_i} = \lambda \quad (2.6)$$

Kondisi operasi ekonomis adalah

$$(b + 2cP_i) \times \text{fuel cost} = \lambda \quad (2.7)$$

Dimana :

L = faktor pengali Lagrange

$F_t$  = total biaya pembangkitan (Rp)

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

$P_r$  = total kebutuhan beban pada sistem (MW)

Dalam pengoperasiannya, sering terjadi pertambahan atau pengurangan biaya operasi bahan bakar disebabkan karena proses produksi atau operasi. Biaya ini disebut dengan *incremental fuel-cost*. Incremental fuel cost didefinisikan dengan

$$\frac{\partial F_t}{\partial P_i} = (b + 2cP_i) \times \text{fuel cost} \quad (2.8)$$

$$\frac{\partial F_t}{\partial P_i} = \lambda \quad (2.9)$$

dimana:

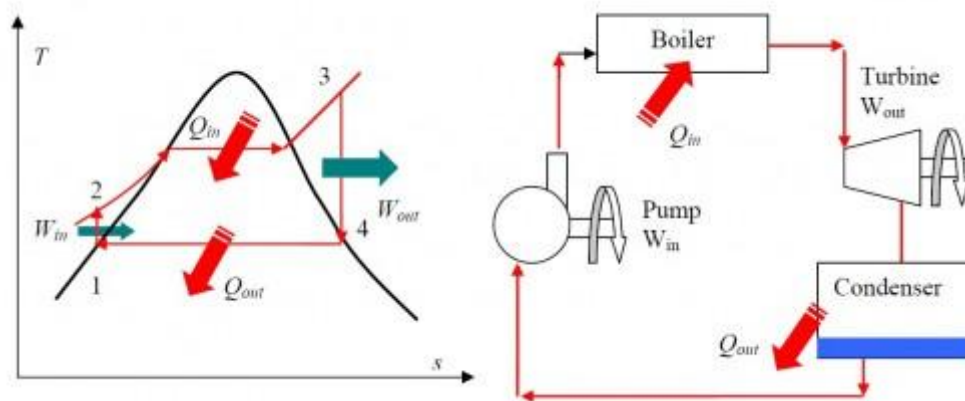
$F_t$  = Biaya operasi dalam Rp/h

$\frac{\partial F_t}{\partial P_i}$  = Biaya operasi berdasarkan daya yang dihasilkan Rp/MWh

Kurva incremental fuel cost menggambarkan bahwa biaya operasi itu akan bertambah seiring dengan bertambahnya daya yang dihasilkan

## B. Pembangkit Listrik Tenaga Uap

Pembangkit listrik tenaga uap merupakan suatu sistem tenaga listrik yang mengkonversikan tenaga uap menjadi listrik. Pembangkit tenaga listrik uap mempunyai komponen-komponen penyusun yang menjadi suatu sistem yang sering disebut dengan siklus rankine. Siklus rankine merupakan siklus dasar dalam pengoperasian semua pembangkit yang menggunakan fluida.



Gambar 1. Siklus Rankine Ideal

Komponen-komponen penyusun dari siklus Rankine antara lain turbin uap, kondensator dan boiler. Turbin uap merupakan komponen utama yang berfungsi untuk mengkonversi tenaga uap menjadi tenaga listrik. Mengoperasikan turbin uap harus menggunakan uap, selain itu uap yang digunakan harus berupa *superheated steam*. Karena uap yang dihasilkan dari boiler hanya berupa *saturated steam* maka sebelum uap tersebut digunakan untuk mengoperasikan turbin uap, uap tersebut harus dipanaskan kembali dengan menggunakan *superheater* (pemanas lanjut) hingga mencapai *superheated steam*. Prinsip kerja dari uap ialah uap masuk ke dalam turbin melalui nosel, di dalam nosel energi panas dari uap dirubah menjadi energi kinetik dan uap mengalami pengembangan. Tekanan uap pada saat keluar dari nosel lebih kecil dari pada saat masuk ke dalam nosel, akan tetapi sebaliknya kecepatan uap keluar nosel lebih besar dari pada saat masuk ke dalam nosel. Uap yang memancar keluar dari nosel diarahkan ke sudu-sudu turbin yang berbentuk lengkungan dan dipasang sekeliling roda turbin. Uap yang mengalir melalui celah-celah antara sudu turbin dibelokkan ke arah mengikuti lengkungan dari sudu turbin.

Perubahan kecepatan uap ini menimbulkan gaya yang mendorong dan kemudian memutar roda dan poros turbin. Jika uap masih mempunyai kecepatan saat meninggalkan sudu turbin berarti hanya sebagian energi kinetik dari uap yang diambil oleh sudu-sudu turbin yang berjalan. Supaya energi kinetik yang tersisa bisa dimanfaatkan, maka pada turbin dipasang lebih dari satu baris sudu gerak.

Kondensor adalah peralatan yang berfungsi untuk mengubah uap menjadi air. Prinsip kerja Kondensor proses perubahannya dilakukan dengan cara mengalirkan uap ke dalam suatu ruangan yang berisi pipa-pipa (*tubes*). Uap mengalir di luar pipa-pipa (*shell side*) sedangkan air sebagai pendingin mengalir di dalam pipa-pipa (*tube side*). Kondensor seperti ini disebut kondensor tipe *surface* (permukaan). Kebutuhan air untuk pendingin di kondensor sangat besar sehingga dalam perencanaan biasanya sudah diperhitungkan. Air pendingin diambil dari sumber yang cukup persediannya, yaitu dari danau, sungai atau laut. Posisi kondensor umumnya terletak dibawah turbin sehingga memudahkan aliran uap keluar turbin untuk masuk kondensor karena gravitasi.

Laju perpindahan panas tergantung pada aliran air pendingin, kebersihan pipa-pipa dan perbedaan temperatur antara uap dan air pendingin. Proses perubahan uap menjadi air terjadi pada tekanan dan temperatur jenuh, dalam hal ini kondensor berada pada kondisi vakum. Karena temperatur air pendingin sama dengan temperatur udara luar, maka temperatur air kondensatnya maksimum mendekati temperatur udara luar. Apabila laju perpindahan panas terganggu, maka akan berpengaruh terhadap tekanan dan temperatur.



Pompa merupakan komponen yang berfungsi untuk meningkatkan tekanan fluida sebelum memasuki boiler. Untuk menggerakkan pompa tertentu memerlukan daya dari luar, daya tersebut akan memutar impeller di dalam pompa lalu putaran dari impeller ini akan mengarahkan dan meningkatkan tekanan fluida. Boiler atau ketel uap merupakan suatu perangkat mesin yang berfungsi untuk mengubah air menjadi uap. Proses perubahan air menjadi uap terjadi dengan memanaskan air yang berbeda didalam pipa-pipa dengan memanfaatkan panas dari hasil pembakaran bahan bakar, pembakaran dilakukan secara kontinyu didalam ruang bakar dengan mengalirkan bahan bakar dan udara dari luar. Uap yang dihasilkan boiler adalah uap *superheat* dengan tekanan dan temperatur yang tinggi. Jumlah produksi uap tergantung pada luas permukaan pemindah panas, laju aliran dan panas pembakaran yang diberikan.

PLTU Tarahan Lampung merupakan salah satu perusahaan pembangkit listrik tenaga uap di indonesia berkapasitas 2x100 MW. PLTU Tarahan unit 3 dan 4 menggunakan bahan bakar batubara dari terminal batubara yang di operasikan PT. Bukit Asam. PLTU Tarahan memakai teknologi boiler type CFB (*Circulating Fluidized Bed*) dengan kapasitas produksi uap per unit 400 ton/jam untuk memutar turbin dan generator pada pembebanan 100 MW. Proses pembangkitan PLTU Tarahan meliputi sirkulasi air dan sirkulasi uap.

Pada sirkulasi air, air merupakan fluida kerja yang di isikan ke boiler menggunakan pompa air pengisi (BFP) melalui *Economizer* dan di tampung dalam boiler drum. Sirkulasi air di dalam boiler adalah air dan boiler drum turun melalui *Down Corner* kemudian masuk kembali ke tube-tube pemanas

(*riser*). Didalam riser, air mengalami pemanasan sehingga mendidih dan masuk kemudian naik ke boiler drum. Didalam boiler drum, air dan uap di pisahkan.

Sirkulasi uap yaitu uap yang ada didalam boiler drum dalam kondisi jenuh, kemudian di alirkan ke *superheater* 1 dan *superheater* 2 lalu *finishing superheater*. Uap keluaran dari finishing superheater masuk ke turbin kemudian digunakan untk memutar turbin. Putaran turbin inilah yang kemudian juga memutar generator sehingga menghasilkan listrik.

### **C. Laju Panas Pembangkit (*Heat Rate*)**

Secara umum laju panas pembangkit (*heat rate*) menjelaskan seberapa besar energi input yang dibutuhkan untuk menghasilkan energi dari generator. Semakin besar nilai laju panas pembangkit (*heat rate*) maka semakin jelek efisien pembangkit tersebut, dan sebaliknya semakin kecil nilai laju panas pembangkit (*heat rate*) maka semakin efisiensi pembangkit tersebut.

Uji laju panas pembangkit (*heat rate*) bertujuan untuk mengidentifikasi terjadinya penurunan kinerja thermal pembangkit serta menentukan penyebab bagian pembangkit yang menyebabkan kerugian daya dan efisiensi lebih rendah dari seharusnya. Dengan mengetahui kondisi pembangkit yang melebihi normal serta bagian mana dari pembangkit yang mengalami masalah maka dapat dilakukan langkah-langkah perbaikan untuk mengatasinya. Dengan uji *heat rate* secara rutin diharapkan kinerja atau performa mesin dapat selalu terpantau dan terjaga karena apabila dirupiahkan kenaikan *heat rate* pengoperasian itu akan mempengaruhi jumlah bahan bakar yang digunakan, dimana biaya bahan bakar merupakan biaya pembangkitan yang sangat besar.

Sehingga akan sangat signifikan apabila dapat mempertahankan *heat rate* pengoperasian pembangkit.

Metode uji *heat rate* secara umum ada 2 macam yaitu:

#### 1. Direct Method

Direct Method yaitu metode pengujian *heat rate* secara langsung dengan menggunakan perbandingan input dan output. Metode ini sering disebut dengan *input – output method*. Pada metode ini energi input dari bahan bakar akan dibandingkan langsung dengan energi output yang diproduksi. metode ini merupakan metode yang sederhana dan mudah dan banyak digunakan dalam uji *heat rate*

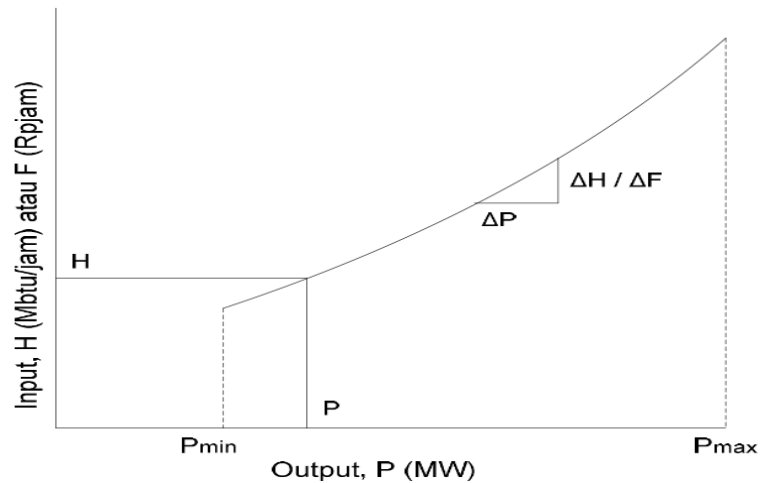
#### 2. Indirect Method

Indirect Method sering disebut juga dengan *Output Method* atau *Energy Balance Method*. Metode ini lebih sulit tapi akan memiliki akurasi hasil yang lebih baik. Metode ini memerlukan banyak pengukuran proses konversi energi serta gangguan yang timbul pada masing-masing bagian pembangkit, selanjutnya dilakukan proses perhitungan yang rumit. Metode ini akan mengukur masing-masing komponen dan gangguan yang terjadi sehingga akan dapat digunakan sebagai bahan identifikasi kondisi *heat rate*

### **D. Karakteristik Pembangkit**

Karakteristik pembangkit listrik sangatlah penting guna menekan pembiayaan bahan bakar. Dengan mengenal karakteristik pembangkit listrik maka pengaturan output pembangkit dapat diatur dengan baik sehingga biaya bahan

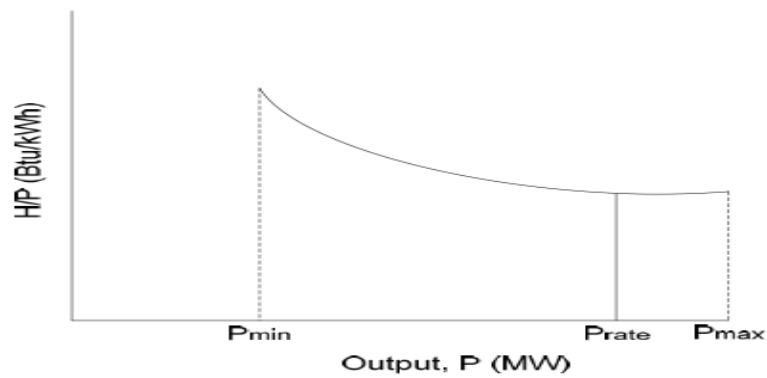
baku energi dapat diminimalisir. Berdasarkan karakteristik pembangkit listrik, dapat dibuat model matematis untuk proses optimasi agar dihasilkan biaya pembangkitan yang ekonomis.



Gambar 2. Kurva Karakteristik Input-output Unit Thermal

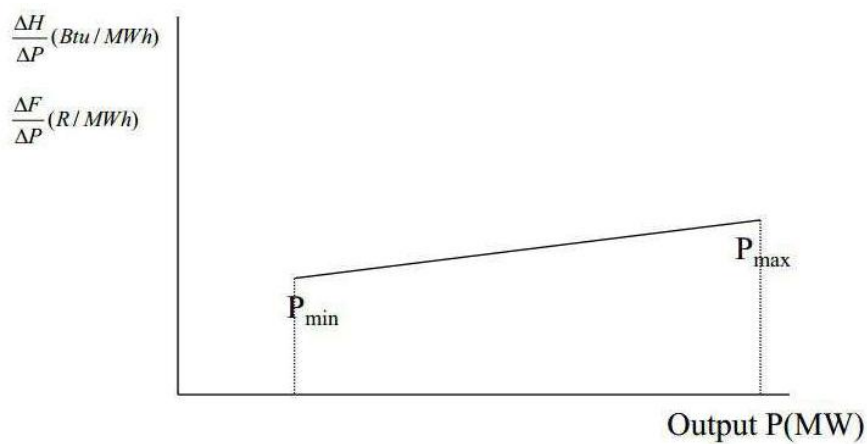
Gambar 2 adalah karakteristik input output dari unit pembangkit thermal yang ideal, digambarkan sebagai kurva non-linier yang kontinyu. Data karakteristik input output diperoleh dari perhitungan desain atau dari pengukuran. Input dari pembangkit ditunjukkan pada sumbu tegak yaitu energi panas yang dibutuhkan dalam bentuk Mbtu/h atau biaya total perjam (R/h). Output dari pembangkit ditunjukkan pada sumbu mendatar yaitu daya listrik, yang memiliki batas-batas kritis operasi yaitu daya maksimum dan minimum dari pembangkit. Kurva ini didapat dari hasil tes panas pembangkit uap.

Pembangkit termal mempunyai batas operasi minimum dan maksimum, batasan beban minimum biasanya disebabkan oleh generator. Pada umumnya unit pembangkit termal tidak dapat beroperasi di bawah 30% dari kapasitas desain.



Gambar 3. Karakteristik Laju Panas

Karakteristik laju panas ini menunjukkan kerja sistem dari sistem pembangkit thermal seperti kondisi uap, temperatur panas, tekanan kondensor, dan siklus aliran secara keseluruhan. Pada kurva terlihat bahwa efisiensi yang baik terletak pada limit maksimalnya.



Gambar 4. Karakteristik Kenaikan panas/Biaya Unit

Karakteristik kenaikan panas dari unit pembangkit termal ditunjukkan pada gambar 4. karakteristik ini adalah kemiringan/slope dari karakteristik input-output ( $\Delta H/\Delta P$  atau  $\Delta F/\Delta P$ ) atau turunan pertama dari karakteristik input-output.

Pada karakteristik ini ditunjukkan nilai Btu per MWh atau R/MWh terhadap daya keluaran dalam satuan MW. Karakteristik ini digunakan untuk perhitungan pembebanan ekonomis dari unit pembangkit. Jika persamaan input-output unit pembangkit dinyatakan dalam pendekatan dengan menggunakan persamaan kuadrat, maka karakteristik kenaikan biaya akan mempunyai bentuk garis lurus.

Karakteristik laju panas juga salah satu karakteristik yang perlu diketahui. Pada karakteristik ini, input merupakan jumlah panas per kilowattjam (Btu/kWh) dan output merupakan daya listrik dalam satuan MW.

## **BAB III. METODELOGI PENELITIAN**

### **A. Waktu Dan Tempat**

Pengerjaan tugas akhir ini bertempat di laboratotium Jurusan Teknik Elektro Universitas Lampung pada bulan Desember 2015

### **B. Alat dan Bahan**

Adapun peralatan dan bahan-bahan yang digunakan pada penelitian ini adalah sebagai berikut:

- 1.Satu unit *personal computer*.
- 2.Perangkat lunak Matlab 2009A sebagai alat bantu untuk perhitungan
- 3.Data-data bahan bakar pembangkit dan *Heat Rate* PLTU Tarahan Lampung Unit 3 dan 4.

### C. Metode Penelitian

Penelitian ini adalah analisis pengaruh perubahan beban terhadap biaya bahan bakar pembangkitan, pada pengerjaan penelitian ini akan dilalui beberapa tahapan berikut ini:

#### 1. Studi Literatur

Studi literatur dimaksudkan untuk mempelajari berbagai sumber referensi atau teori (buku dan internet) yang berkaitan dengan penelitian dalam menganalisis pengaruh perubahan beban terhadap biaya bahan bakar pembangkitan.

#### 2. Pengumpulan Data

Pada tahap ini dimaksudkan untuk mengambil data yang nantinya akan diolah dan dianalisis. Adapun data yang digunakan adalah :

- Data pembangkit PLTU Tarahan Unit 3 dan 4 berupa Pemakaian Bahan Bakar, Heat Rate, Energi (MWh) yang dihasilkan.

#### 3. Metode Penyelesaian

##### a. Mencari Persamaan Laju Panas Pembangkit (*Heat Rate*)

Langkah pertama untuk mencari persamaan laju panas pembangkit (*heat rate*) ialah dengan mengetahui daya pada masing-masing bulan. Untuk mencari daya pada masing-masing bulan, digunakan rumus :

$$\text{Daya (MW)} = \frac{\text{Energi (MWh)}}{\text{Jumlah Hari} \times 24 \text{ jam}} \quad (3.1)$$

Langkah selanjutnya memformulasikan ke persamaan 3.2 berikut:



$$H(P_i) = a + bP_i + cP_i^2 \quad (3.2)$$

$H(P_i)$  = Bahan Bakar (kg) x Kalori (kcal/kg), Lalu merubah satuan  $H(P_i)$  dari kcal ke Mbtu/h.

Dimana,

$P_i$  = Daya Rata-Rata ke-i

a,b,c = konstanta input pembangkit

Kalori = 5000 Kcal/kg

1 kcal = 0,003968318 Mbtu

#### b. Mencari Fungsi Masukan Keluaran Generator

Fungsi masukan keluaran generator dapat dicari dengan menggunakan persamaan laju panas pembangkit (*heat rate*) per tiga bulan yaitu januari-februari-maret, april-mei-juni, dan juli-agustus-september maka didapat 3 persamaan sistem persamaan linear 3 variabel. Sistem persamaan linear tersebut diselesaikan dengan menggunakan invers matrik sehingga diperoleh nilai a,b,c untuk persamaan fungsi masukan keluaran generator. Setelah fungsi masukan keluaran generator per tiga bulan didapatkan, maka kurva input-output pembangkit bisa dicari dengan menggunakan software matlab. Kurva masukan keluaran generator memiliki hubungan antara  $\Delta F/\Delta P$ .

#### 4. Menghitung *Marginal Cost/incremental cost*

Untuk memperoleh laju pertambahan biaya atau biasa disebut *incremental cost*, menggunakan pendekatan metode *Lagrange*. Persamaan dituliskan sebagai berikut:

$$\mathcal{L} = F_T + \lambda (P_R - \sum_{i=1}^N P_i) \quad (3.3)$$

$$\frac{\partial \mathcal{L}}{\partial P_i} = \frac{\partial F_T}{\partial P_i} + \lambda \left( \frac{\partial P_R}{\partial P_i} - \frac{\partial P_i}{\partial P_i} \right) = 0 \quad (3.4)$$

$$\frac{\partial F_T}{\partial P_i} + \lambda (0 - 1) = 0 \quad (3.5)$$

$$\frac{\partial F_T}{\partial P_i} = \lambda \quad (3.6)$$

$$F_T = \sum_{i=1}^N H(P_i) \quad (3.7)$$

Kondisi operasi ekonomis adalah

$$\Delta F / \Delta P = (b + 2cP_i) \times \text{fuel cost} \quad (3.8)$$

$$\Delta F / \Delta P = \lambda \quad (3.9)$$

dimana:

$F_T$  = Biaya operasi dalam Rp/h

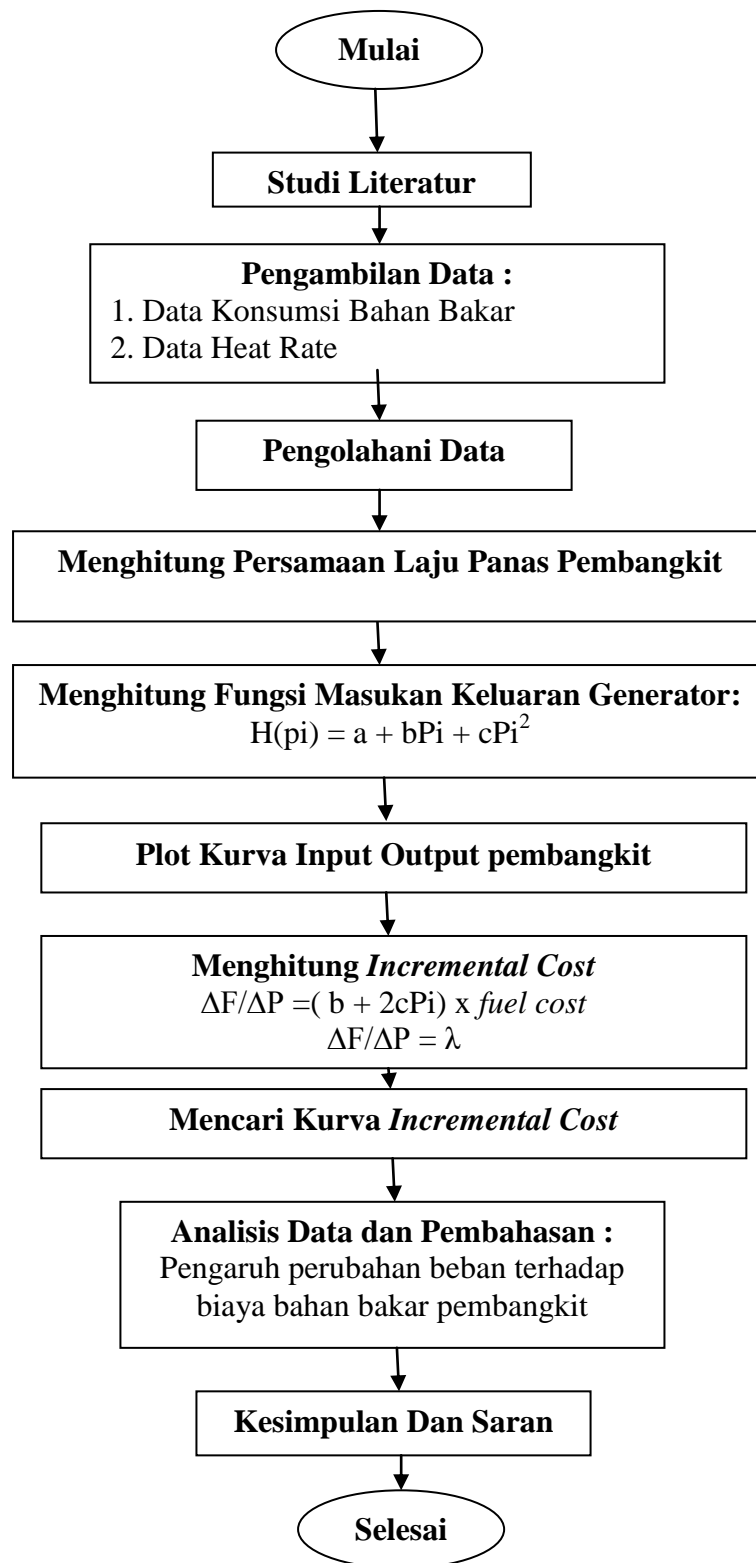
$\Delta F / \Delta P$  = Biaya operasi berdasarkan daya yang dihasilkan dalam Rp/MWh

$\lambda$  = Pertambahan biaya (*incremental cost*).

#### D. Algoritma Perhitungan

1. Mencari Persamaan laju panas pembangkit (*heat rate*) masing-masing bulan.
2. Menghitung Daya ( $P_i$ ) pada masing-masing bulan.
3. Masukkan nilai daya ( $P_i$ ) ke persamaan 3.2.
4. Mencari  $H(p_i)$  dengan mengalikan konsumsi bahan bakar terhadap jumlah kalori yang ditentukan.
5. Mengkonversi satuan  $H(P_i)$  dari kcal ke Mbtu.
6. Mencari Fungsi masukan keluaran generator dengan persamaan laju panas pembangkit per tiga bulan sehingga didapat 3 persamaan linear 3 variabel.
7. Mencari nilai konstanta a,b,c untuk persamaan fungsi masukan keluaran generator dengan cara menginverskan 3 persamaan linear 3 variabel.
8. Mencari kurva *input output* pembangkit.
9. Dengan menggunakan *software* matlab, masukkan nilai daya keluaran minimum dan maksimum per tiga bulan ke persamaan fungsi *input output* pembangkit sehingga diperoleh kurva *input output* pembangkit.
10. Menghitung *incremental cost* ( $\lambda$ ) sesuai persamaan 3.8
11. Diferensialkan fungsi masukan keluaran generator sesuai persamaan 3.6
12. Masukkan daya ( $P_i$ ) minimum dan maksimum per tiga bulan sehingga diperoleh nilai  $\lambda$  minimum dan maksimum.
13. Mencari kurva pertambahan biaya (*incremental cost*).
14. Dengan Menggunakan *software* matlab, masukkan daya ( $P_i$ ) minimum dan maksimum per tiga bulan ke persamaan 3.8 sehingga didapatkan kurva *incremental cost*.

### E. Diagram Alir Penelitian



Gambar 4. Flow chart penelitian

## BAB V. KESIMPULAN DAN SARAN

### A. Kesimpulan

Setelah dilakukan perhitungan dan analisa dari penelitian ini, dapat diambil beberapa kesimpulan diantaranya:

1. Fungsi dari masukan keluaran (*input output*) pembangkit sangat berpengaruh terhadap penambahan biaya bahan bakar akibat dari perubahan beban. Input pembangkit menunjukkan kebutuhan energi beban berupa Mbtu/h sedangkan output pembangkit menunjukkan daya keluaran yang memiliki batas minimum dan maksimum.
2. *Output* pembangkit maksimum di unit 3 dan 4 terjadi pada bulan Juni 2015. Untuk unit 3, *output* maksimum yang dihasilkan sebesar 97,85 MW dengan kebutuhan energi panas 908,07 Mbtu/h. Sedangkan unit 4, *output* maksimumnya 96,07 MW dan kebutuhan energi panasnya 855,28 Mbtu/h.
3. Total biaya bahan bakar yang dikeluarkan pada bulan Juni 2015 di unit 3 sebesar Rp.452.136.500.441 dan untuk waktu yang sama di unit 4 total biaya bahan bakar sebesar Rp.349.705.977.193.
4. Pertambahan biaya (*incremental cost*) menunjukkan berapa biaya bahan bakar apabila dinaikkan 1 MW dalam per jam nya. Untuk bulan Juni 2015, pertambahan biaya bahan bakar di unit 3 sebesar Rp.44.597.805/MWh sedangkan pada unit 4 pertambahan biaya bahan bakar sebesar Rp.50.476.551/MWh.

**B. Saran**

untuk dapat memperbaiki penelitian ini maka penulis menyarankan untuk dilakukan pengembangan. Diperlukan penelitian kembali dengan melakukan pengambilan data yang baik agar hasil yang didapat sesuai dengan teori yang ada.

## DAFTAR PUSTAKA

1. Wood, Allen J., dan Bruce. 1984. *Power Generation Operation And Control*. Newyork: John Wiley & Sonsc,Inc.
2. Stevenson, William. 1984. *Analisis Sistem Tenaga Listrik (Edisi Keempat)*. Jakarta: Erlangga.
3. Marsudi, Ditjeng. 2006. *Operasi Sistem Tenaga Listrik*. Jakarta: Erlangga.
4. Imron, Tommy. *Pengaruh Perubahan Beban Terhadap Biaya pembangkitan PLTU 5 x 80 MW*. Universitas Lampung. 2006.
5. Marifah, Riva. *Operasi Ekonomis Pembangkit Thermal Sistem 500 KV Jawa-Bali Dengan Pendekatan Algoritma Fuzzy Logic*. Universitas Pendidikan Indonesia. 2013.
6. Grainger, Jhon J dan William D Stevenson. 1994. *Power System Analisis*. Newyork. McGraw Hill.
7. Winardi, Bambang. *Analisis Konsumsi Bahan Bakar Pada Pembangkit Listrik Tenaga Uap (Studi kasus Di PT. Indonesia Power Semarang)*. Universitas Diponegoro. 2009.