

**ANALISIS *ECONOMIC DISPATCH* PADA PLTU SEKTOR BUKIT ASAM
MENGUNAKAN METODE ITERASI LAMBDA
DAN *DYNAMIC PROGRAMMING***

(Skripsi)

HANA NABILA



**JURUSAN TEKNIK ELEKTRO
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS LAMPUNG
BANDARLAMPUNG**

2017

ABSTRAK

ANALISIS *ECONOMIC DISPATCH* PADA PLTU SEKTOR BUKIT ASAM MENGUNAKAN METODE ITERASI LAMBDA DAN *DYNAMIC PROGRAMMING*

Oleh

HANA NABILA

Pada operasi sistem tenaga listrik, daya yang dibangkitkan dapat berubah sesuai permintaan. Konsumsi bahan bakar akan semakin besar mengikuti daya keluaran pembangkit yang semakin besar sehingga biaya pembangkitan akan meningkat. Untuk meminimalkan biaya pembangkitan, maka diperlukan analisis *Economic Dispatch* dengan membagi pembebanan pada setiap unit pembangkit berdasarkan kurva *Heat Rate*. Metode yang digunakan pada tugas akhir ini adalah metode Iterasi Lambda dan *Dynamic Programming*. Kasus yang diambil adalah pada PLTU Sektor Bukit Asam dengan mengoperasikan dua unit, yaitu unit 3 dan unit 4 pada Januari sampai dengan Maret 2017. Besar energi yang dibangkitkan, yaitu 150,673.13 MWh dengan menggunakan metode Iterasi Lambda, total konsumsi bahan bakar yang dibutuhkan adalah 89,733.35 ton dengan biaya sebesar Rp43,879,609,714.80 dan menggunakan metode *Dynamic Programming*, total konsumsi bahan bakar yang dibutuhkan adalah 85,111.42 ton dengan biaya sebesar Rp41,619,483,402.00. Metode *Dynamic Programming* lebih baik daripada metode Iterasi Lambda pada kasus ini karena dengan menggunakan metode *Dynamic Programming*, kita dapat menghemat konsumsi bahan bakar sebesar 4,621.94 ton dengan biaya Rp2,260,126,312.80 pada bulan Januari sampai dengan Maret 2017.

Kata Kunci: *Economic Dispatch*, Iterasi Lambda, *Dynamic Programming*.

ABSTRACT

ECONOMIC DISPATCH ANALYSYS IN PLTU BUKIT ASAM USING LAMBDA ITERATION METHOD AND DYNAMIC PROGRAMMING METHOD

By

HANA NABILA

In electric power system operation, the output power of each generating unit may changes according to the load demand. As fuel consumption increases following the output process of generator increases, cost of producing electricity increases. To minimize the fuel cost, we can use Economic Dispatch Analysis that refers to the Heat Rate Curve. The methods are Lambda Iteration and Dynamic Programming. This case is in PLTU Bukit Asam by operating two units, unit 3 and unit 4 from January to March 2017. The total of energy is 150,673.10 MWh, using Lambda Iteration, total fuel consumption is 89,733.35 tonnes with the cost of Rp43,879,609,714.80. Additionally for Dynamic Programming, the total fuel consumption is 85,111.42 tonnes with the cost of Rp41,619,483,402.00. Dynamic Programming Methods is better than Lambda Iteration for this case due to the saving fuel consumption of 4,621.94 tonnes with the cost of Rp2,260,126,312.80.

Keywords: Economic Dispatch, Lambda Iteration, Dynamic Programming.

**ANALISIS *ECONOMIC DISPATCH* PADA PLTU SEKTOR BUKIT ASAM
MENGUNAKAN METODE ITERASI LAMBDA
DAN *DYNAMIC PROGRAMMING***

Oleh

HANA NABILA

Skripsi

Sebagai Salah Satu Syarat Untuk Mencapai Gelar

SARJANA TEKNIK

Pada

Jurusan Teknik Elektro

Fakultas Teknik Universitas Lampung



**JURUSAN TEKNIK ELEKTRO
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS LAMPUNG
BANDARLAMPUNG**

2017

Judul Skripsi : **ANALISIS *ECONOMIC DISPATCH*
PADA PLTU SEKTOR BUKIT ASAM
MENGUNAKAN METODE ITERASI
LAMBDA DAN *DYNAMIC PROGRAMMING***

Nama Mahasiswa : **Hana Nabila**

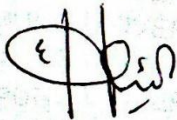
Nomor Pokok Mahasiswa : 1315031039

Jurusan : Teknik Elektro

Fakultas : Teknik

MENYETUJUI

1. Komisi Pembimbing



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



Dr. Eng. Lukmanul Hakim, S.T., M.Sc.
NIP 19720923 200012 1 002

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. Lukmanul Hakim, S.T., M.Sc.



**Penguji
Bukan Pembimbing : Osea Zebua, S.T., M.Sc.**



.....

2. Dekan Fakultas Teknik



Prof. Suharno, M.Sc., Ph.D.

NIP 19620717 198703 1 002

Tanggal Lulus Ujian Skripsi : 25 Juli 2017

SURAT PERNYATAAN

Dengan ini saya menyatakan bahwa Skripsi ini dibuat oleh saya sendiri dan di dalam Skripsi ini tidak terdapat karya yang pernah dilakukan oleh orang lain. Selain itu, tidak terdapat karya atau pendapat yang telah ditulis atau diterbitkan oleh oranglain, kecuali secara tertulis diacu dalam Skripsi ini sebagaimana yang disebutkan pada Daftar Pustaka.

Apabila pernyataan saya tidak benar, maka saya siap diberikan sanksi sesuai dengan hukum yang berlaku.

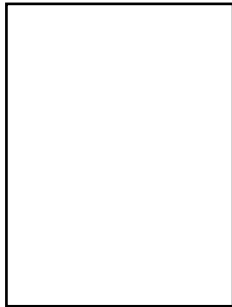
Bandarlampung, 2 Agustus 2017



Hana Nabila

NPM. 1315031039

RIWAYAT HIDUP



Penulis dilahirkan di Tanjung Enim pada tanggal 3 November 1995. Penulis adalah anak kedua dari lima bersaudara dari pasangan Bapak Hanif Iqbal dan Ibu Wiwin Winangsih.

Riwayat pendidikan penulis, yaitu TK Antrasita Lawang Kidul pada tahun 2000 sampai dengan 2001, SDN 8 Lawang Kidul pada tahun 2001 sampai dengan 2007, SMPN 1 Lawang Kidul pada tahun 2007 sampai dengan 2010, SMAN 1 Unggulan Muara Enim pada tahun 2010 sampai dengan 2013.

Penulis menjadi mahasiswa Jurusan Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Lampung melalui jalur ujian tertulis, yaitu SBMPTN pada tahun 2013. Penulis menjadi asisten dosen mata kuliah Probabilitas dan Statistika pada tahun 2014 sampai dengan 2016. Penulis juga menjadi asisten praktikum di laboratorium Konversi Energi Elektrik pada tahun 2015 sampai dengan 2017. Penulis mengikuti Himpunan Mahasiswa Teknik Elektro atau HIMATRO sebagai anggota Divisi Penelitian dan Pengembangan pada tahun 2014 dan sebagai anggota Divisi Pendidikan pada tahun 2015. Penulis melaksanakan Kerja Praktek di PLTU Sektor Bukit Asam pada tahun 2015 dengan mengambil judul, yaitu “Rele Differensial Sebagai Proteksi Generator Unit 3 Pada PLTU Sektor Bukit Asam”.



MOTTO

"Berdoa dan Berusaha

"Yakinlah Pada Hatimu dan Dirimu"

*"Niat dan Usaha yang Baik Insya Allah
Akan Mendapatkan Hasil yang Baik"*



بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

*Karya Ini Saya Persembahkan
Untuk*

*Kedua Orangtua Tersayang
Hanif Iqbal dan Wiwin Winangsih*

Kakak Tersayang

Annisa Nurani

Adik-adik Tersayang

Muhammad Zaki

Rana Azzahra

Athaya Muthia

Dan Keluarga Besar

SANWACANA

Puji syukur saya ucapkan kepada Allah SWT yang tmemberikan rahmat-Nya sehingga Skripsi ini dapat diselesaikan dengan baik. Penulisan Skripsi ini ditujukan untuk mencapai gelar Sarjana Teknik Jurusan Teknik Elektro di Fakultas Teknik Universitas Lampung. Dalam penyusunan Skripsi ini, saya mendapatkan banyak bantuan sehingga saya mengucapkan terimakasih kepada :

1. Allah SWT yang telah memberikan kemudahan dan kelancaran dalam menyelesaikan Skripsi ini dengan baik dan tepat waktu.
2. Bpk. Prof. Dr. Ir. Hasriadi Mat Akin, M.P., selaku Rektor Universitas Lampung.
3. Bpk. Prof. Drs. Suharno, M.Sc., Ph.D., selaku Dekan Fakultas Teknik Universitas Lampung.
4. Bpk. Dr. Ing Ardian Ulvan, S.T., M.Sc., selaku Ketua Jurusan Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Lampung.
5. Bpk. Herri Gusmedi, S.T., M.T., selaku dosen pembimbing utama yang telah membimbing saya dalam menyelesaikan Skripsi ini, memberikan arahan, dan pandangan hidup dengan baik.
6. Bpk. Dr. Eng. Lukmanul Hakim, S.T., M.Sc., selaku dosen pembimbing pendamping yang telah memberikan saran, bimbingan, dan arahan kepada saya dengan jelas dan baik.

7. Bpk. Osea Zebua, S.T., M.T., selaku dosen penguji yang telah memberikan saran dan arahan kepada saya dengan baik.
8. Dosen Jurusan Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Lampung yang telah memberikan pengajaran dan pandangan hidup selama perkuliahan.
9. Staff administrasi Jurusan Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Lampung.
10. Orangtua yang telah mendoakan dan memberikan dukungan formal dan material kepada saya.
11. Saudara dan keluarga besar yang telah mendoakan dan memberikan dukungan kepada saya.
12. Darma Setiawan yang telah memberikan dukungan dan membantu saya dalam menyelesaikan Skripsi ini dengan baik dan penuh perhatian.
13. Citra, Niken, Pitia, Nurul, Yona, Ubai, Shanny, Gusti, Ikrom, Wira, dan Sulton, yang telah membantu saya dalam menyelesaikan Skripsi ini.
14. Teman-teman Teknik Elektro angkatan 2013 yang telah membantu saya selama perkuliahan dan menyelesaikan Skripsi ini.
15. Kak Gusmau dan kak Fikri yang telah memberikan referensi untuk Skripsi ini.
16. Bpk. Hasbi, Bpk. Ali, Bpk. Nerson, Bpk. Andri, Bpk. Najmi, Bpk. Heru, Bpk. Riski, Ibu Ida, Bpk. Zuki, Bpk. Randi, dan Habi yang telah memberikan data untuk Skripsi saya dan membantu saya selama saya mengambil data di PLTU Sektor Bukit Asam.
17. Semua pihak yang telah memberikan dukungan dan membantu saya dalam menyelesaikan Skripsi ini.

Akhir kata, semoga Allah SWT memberikan kebaikan untuk semua pihak yang telah membantu saya dan Skripsi ini dapat memberikan manfaat bagi yang membaca.

Bandarlampung, 2 Agustus 2017

Penulis,

Hana Nabila

NPM.1315031039

DAFTAR ISI

| | |
|--|---|
| ABSTRAK | |
| HALAMAN JUDUL | |
| HALAMAN PENYETUJUAN | |
| HALAMAN PENGESAHAN | |
| SURAT PERNYATAAN | |
| RIWAYAT HIDUP | |
| MOTTO | |
| PERSEMBAHAN | |
| SANWACANA | |
| DAFTAR ISI | |
| DAFTAR GAMBAR | |
| DAFTAR TABEL | |
| I. PENDAHULUAN | 1 |
| 1.1 Latar Belakang | 1 |
| 1.2 Tujuan Penelitian | 2 |
| 1.3 Manfaat Penelitian | 2 |
| 1.4 Rumusan Masalah | 2 |
| 1.5 Batasan Masalah..... | 3 |
| 1.6 Hipotesis..... | 3 |
| 1.7 Sistematika Laporan..... | 3 |
| II. TINJAUAN PUSTAKA | 5 |
| 2.1 <i>Economic Dispatch</i> Pada Sistem Tenaga..... | 5 |
| 2.2 Kurva Karakteristik <i>Input-Output</i> | 7 |
| 2.3 Kurva Inkremental Biaya Bahan Bakar | 8 |

| | |
|---|-----|
| 2.4 Regresi Polinomial | 9 |
| 2.5 Metode Iterasi Lambda | 10 |
| 2.6 Metode <i>Dynamic Programming</i> | 14 |
| III. METODOLOGI PENELITIAN..... | 17 |
| 3.1 Waktu dan Tempat | 17 |
| 3.2 Alat dan Bahan..... | 17 |
| 3.3 Tahap Penelitian..... | 18 |
| 3.4 Diagram Alir Penelitian | 20 |
| 3.5 Tahap Perhitungan | 21 |
| 3.6 Diagram Alir Perhitungan | 25 |
| IV. HASIL DAN PEMBAHASAN..... | 27 |
| 4.1 Data PLTU Sektor Pembangkitan Bukit Asam..... | 27 |
| 4.2 Metode Simulasi | 28 |
| 4.3 Hasil Simulasi | 29 |
| 4.4 Analisis Perbandingan Konsumsi bahan bakar..... | 34 |
| 4.5 Analisis Perbandingan Biaya Konsumsi bahan bakar..... | 35 |
| V. KESIMPULAN DAN SARAN..... | 37 |
| 5.1 Kesimpulan | 37 |
| 5.2 Saran..... | 38 |
| DAFTAR PUSTAKA | 39 |
| LAMPIRAN A | 42 |
| LAMPIRAN B | 99 |
| LAMPIRAN C | 156 |

DAFTAR GAMBAR

| | |
|---|----|
| 1. Gambar 2.1 Kurva Karakteristik <i>Input-Output</i> | 7 |
| 2. Gambar 2.2 Kurva Inkremental Biaya Bahan Bakar | 8 |
| 3. Gambar 2.3 Grafik Solusi untuk <i>Economic Dispatch</i> | 10 |
| 4. Gambar 2.4 Konfigurasi Unit Generator Pada <i>Single Busbar</i> | 11 |
| 5. Gambar 2.5 Contoh Penyelesaian Menggunakan <i>Dynamic Programming</i> .. | 15 |
| 6. Gambar 3.1 Diagram Alir Penelitian | 20 |
| 7. Gambar 3.2 Diagram Alir Perhitungan Metode Iterasi Lambda..... | 25 |
| 8. Gambar 3.3 Diagram Alir Perhitungan Metode <i>Dynamic Programming</i> | 26 |
| 9. Gambar 4.1 Kurva Konsumsi bahan bakar Unit 3 | 30 |
| 10. Gambar 4.2 Kurva Konsumsi bahan bakar Unit 4 | 31 |
| 11. Gambar 4.3 Grafik Pembagian Beban dengan Metode Iterasi Lambda..... | 32 |
| 12. Gambar 4.4 Pembagian Beban dengan Metode <i>Dynamic Programming</i> | 33 |
| 13. Gambar 4.5 Perbandingan Konsumsi Bahan Bakar dengan Metode Iterasi Lambda dan <i>Dynamic Programming</i> | 34 |
| 14. Gambar 4.6 Perbandingan Biaya Konsumsi Bahan Bakar dengan Metode Iterasi Lambda dan <i>Dynamic Programming</i> | 35 |

DAFTAR TABEL

1. Tabel 1 Data Hasil Metode Iterasi Lambda dan Metode *Dynamic Programming* 43
2. Tabel 2 Perbandingan Konsumsi Bahan Bakar dan Biaya Konsumsi Bahan Bakar 100

I. PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Dalam pembangkitan energi listrik, ada tiga faktor yang memengaruhi besar daya keluaran dari pembangkit, yaitu kemampuan dari unit pembangkit, permintaan beban, dan rugi-rugi pada saluran. Daya keluaran dari pembangkit dapat berubah setiap waktu sesuai dengan permintaan beban yang diterima. Semakin besar permintaan beban, maka akan semakin besar daya yang harus dibangkitkan. Hal ini akan memengaruhi besar biaya bahan bakar karena semakin besar daya yang dibangkitkan, maka akan semakin besar bahan bakar yang digunakan.

Biaya bahan bakar yang besar akan membuat biaya operasi pembangkitan menjadi tidak ekonomis. Oleh karena itu, dibutuhkan cara untuk meminimalkan biaya operasi dengan tetap memenuhi permintaan beban. Hal ini dapat dilakukan dengan menentukan kombinasi daya keluaran dari setiap unit pembangkit berdasarkan kemampuan dari unit tersebut. Untuk dapat menentukan kombinasi daya keluaran dari setiap unit pembangkit, maka akan dilakukan analisis *Economic Dispatch* yang digunakan untuk meminimalkan biaya operasi dengan membagi besar daya yang harus dibangkitkan oleh setiap unit.

1.2 Tujuan Penelitian

Adapun tujuan dari tugas akhir ini adalah

1. Mendapatkan biaya konsumsi bahan bakar yang minimum menggunakan metode Iterasi Lambda dan *Dynamic Programming*.
2. Mengetahui metode yang lebih baik untuk digunakan pada PLTU Sektor Bukit Asam.

1.3 Manfaat Penelitian

Adapun manfaat yang diharapkan dari tugas akhir ini adalah mendapatkan biaya konsumsi bahan bakar yang minimum pada PLTU Sektor Bukit Asam menggunakan analisis *Economic Dispatch*.

1.4 Rumusan Masalah

Adapun rumusan masalah dari tugas akhir ini adalah

1. Bagaimana menentukan fungsi konsumsi bahan bakar terhadap daya yang dibangkitkan.
2. Bagaimana menentukan kombinasi pembebanan untuk setiap unit pembangkit.
3. Bagaimana perbandingan biaya konsumsi bahan menggunakan metode Iterasi Lambda dan *Dynamic Programming* di PLTU Sektor Bukit Asam.

1.5 Batasan Masalah

Adapun batasan masalah dari tugas akhir ini adalah

1. Data yang digunakan adalah data konsumsi bahan bakar, daya yang dibangkitkan, dan kapasitas pembangkit pada Januari-Maret 2017.
2. Tidak memperhitungkan besar rugi-rugi saluran transmisi.

1.6 Hipotesis

Penelitian ini menggunakan Microsoft Excel dan software Matlab 2014. Microsoft Excel digunakan untuk menghitung Regresi Polinomial Orde Dua untuk mendapatkan fungsi konsumsi bahan bakar dan menghitung biaya konsumsi bahan bakar yang diperoleh dari konsumsi bahan bakar. Software Matlab 2014 digunakan untuk mendapatkan kombinasi daya yang dibangkitkan dan menghitung konsumsi bahan bakar dengan menggunakan metode Iterasi Lambda dan *Dynamic Programming*. Hasil yang diperoleh dari kedua metode akan dibandingkan untuk mendapatkan biaya pembangkitan yang paling minimum.

1.7 Sistematika Laporan

Laporan tugas akhir ini terdiri dari beberapa bab yang menguraikan masalah secara terperinci, yaitu

1.7.1 BAB 1 PENDAHULUAN

Berisi tentang latar belakang, tujuan penelitian, manfaat penelitian, rumusan masalah, batasan masalah, hipotesis, dan sistematika laporan tugas akhir.

1.7.2 BAB 2 TINJAUAN PUSTAKA

Berisi tentang landasan teori untuk menunjang penyusunan laporan tugas akhir.

1.7.3 BAB 3 METODE PENELITIAN

Berisi tentang waktu dan tempat penelitian, alat dan bahan yang digunakan pada penelitian, tahap pengerjaan penelitian, dan diagram alur penelitian.

1.7.4 BAB 4 HASIL DAN PEMBAHASAN

Berisi tentang data hasil yang diperoleh dari penelitian, analisis, dan pembahasan dari data hasil penelitian.

1.7.5 BAB 5 KESIMPULAN DAN SARAN

Berisi tentang kesimpulan yang diperoleh dari hasil penelitian yang sesuai dengan tujuan penelitian dan saran yang diberikan untuk laporan tugas akhir.

II. TINJAUAN PUSTAKA

2.1 *Economic Dispatch* Pada Sistem Tenaga

Economic Dispatch merupakan suatu metode yang dapat digunakan untuk membagi daya yang dibangkitkan oleh unit pembangkit untuk memenuhi kebutuhan beban. Pembagian daya ini bertujuan untuk mendapatkan biaya pembangkitan yang paling murah[1].

Dalam *Economic Dispatch*, ada dua batasan atau *constraints* tertentu yang harus dipenuhi, yaitu *equality constraint* dan *inequality constraints*. *Equality constraint* adalah batasan kesetimbangan daya, yaitu mengharuskan total daya yang dibangkitkan harus memenuhi total kebutuhan daya yang dinyatakan pada persamaan 2.1.

$$\sum_{i=1}^{Ng} P_i = P_D \quad (2.1)$$

Dimana:

P_i = Daya keluaran pembangkit unit i. (MW)

P_D = Daya yang dibutuhkan. (MW)

Inequality constraints adalah batasan yang mengharuskan daya keluaran yang dibangkitkan unit harus lebih besar atau sama dengan daya minimum yang diperbolehkan dan lebih kecil atau sama dengan daya maksimum yang diperbolehkan. Batasan ini dinyatakan pada persamaan 2.2[2].

$$P_{i,min} \leq P_i \leq P_{i,max} \quad (2.2)$$

Untuk memperoleh biaya pembangkitan yang murah, maka daya yang dibangkitkan oleh setiap unit harus dihitung berdasarkan biaya bahan bakar masing-masing unit. Fungsi konsumsi bahan bakar dinyatakan pada persamaan 2.3.

$$F_i(P_i) = \alpha_i + \beta_i P_i + \gamma_i P_i^2 \quad (2.3)$$

Sehingga total biaya pembangkitan dinyatakan pada persamaan 2.4.

$$F_t = \sum_{i=1}^{Ng} F_i(P_i) \quad (2.4)$$

Dimana:

F_i = Biaya bahan bakar unit i. (Rp/jam)

P_i = Daya yang dibangkitkan unit i. (MW)

$\alpha_i, \beta_i, \gamma_i$ = Koefisien biaya bahan bakar.

i = unit pembangkit.

F_t = Total biaya pembangkitan. (MW)

Perubahan biaya bahan bakar setiap unit dapat dinyatakan dengan turunan dari persamaan 2.5[3].

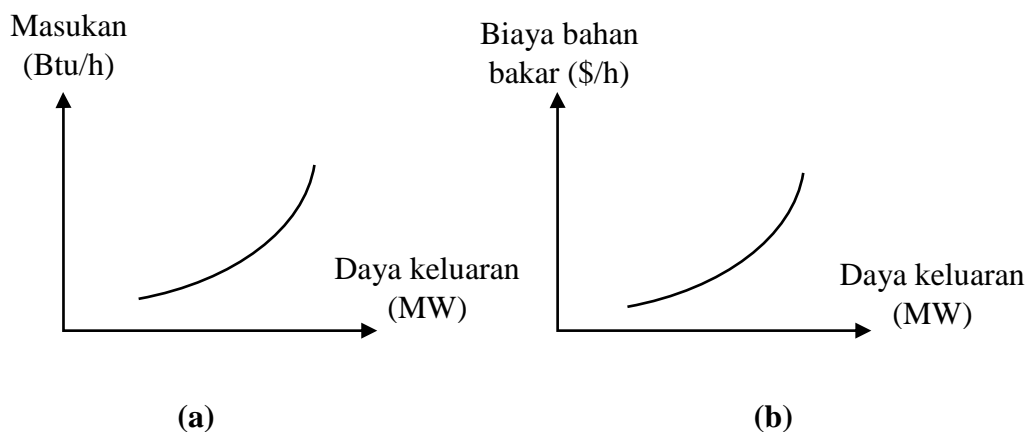
$$\frac{\partial F_i}{\partial P_i} = \lambda = \beta_i + 2\gamma_i P_i \quad (2.5)$$

2.2 Kurva Karakteristik *Input-Output*

Karakteristik *input-output* suatu unit pembangkit ditunjukkan pada Gambar 2.1. Kurva ini menunjukkan hubungan antara masukan turbin dan daya keluaran dari pembangkit. *Input* turbin diberikan oleh energi panas dengan satuan Btu/h (*British thermal unit/hour*) atau Kcal/h (*Kilocalories/hour*) atau dapat diubah ke dalam biaya bahan bakar per jam dengan satuan \$/h. Untuk mengonversikan kurva *input-output* menjadi kurva biaya, maka dapat dihitung menggunakan persamaan 2.6.

$$F = \frac{\text{Kcal} \cdot 10^6}{h} \times \frac{\$}{10^6} (\$/h) \quad (2.6)$$

Output merupakan daya keluaran dari pembangkit dengan satuan MW. Unit pembangkit mempunyai keluaran daya minimum dan daya maksimum yang bergantung pada siklus uap, karakteristik panas dari material, dan suhu operasi.

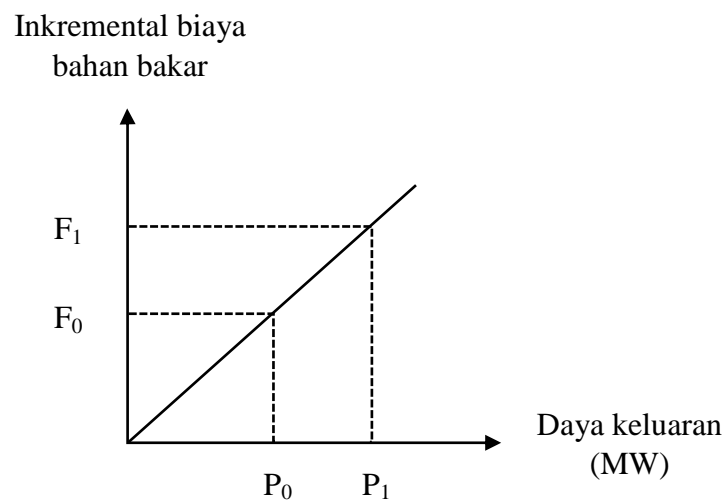


Gambar 2.1 (a) Kurva *Input-Output*, (b) Kurva Biaya Bahan Bakar

2.3 Kurva Inkremental Biaya Bahan Bakar

Dari kurva *input-output*, maka akan didapatkan kurva inkremental biaya bahan bakar. Inkremental biaya bahan bakar didefinisikan sebagai rasio dari perubahan pada *input* untuk bersesuaian dengan perubahan pada *output*[4].

$$\text{Inkremental biaya bahan bakar} = \frac{dF}{dP} \quad (2.7)$$



Gambar 2.2 Kurva Inkremental Biaya Bahan Bakar

2.4 Regresi Polinomial

Model regresi polinomial dinyatakan pada persamaan 2.8 sebagai berikut.

$$y = a_0 + a_1x + a_2x^2 + \dots + a_kx^k \quad (2.8)$$

Untuk $k = 1$, maka model akan membentuk persamaan linear. Untuk $k = 2$, maka model akan membentuk persamaan kuadratik dan seterusnya. Model kuadratik

adalah model polinomial dengan $k = 2$. Untuk persamaan model kuadratik diberikan pada persamaan 2.9[5].

$$y = a_0 + a_1x + a_2x^2 \quad (2.9)$$

Dimisalkan n pasangan koordinat (x_i, y_i) yang diberikan akan dihipotesis oleh sebuah fungsi kuadrat yang dinyatakan pada persamaan 2.9. Sehingga jumlah kuadrat galat diberikan oleh persamaan berikut.

$$S = \sum (y_i - y)^2 = \sum (y_i - a_0 - a_1x - a_2x^2)^2 \quad (2.10)$$

S diturunkan terhadap a_0 , a_1 , a_2 dan masing-masing turunan disamakan terhadap koefisien-koefisien ini dengan nol, sehingga akan diperoleh persamaan berikut.

$$na_0 + a_1 \sum x_i + a_2 \sum x_i^2 = \sum y_i$$

$$a_0 \sum x_i + a_1 \sum x_i^2 + a_2 \sum x_i^3 = \sum x_i y_i$$

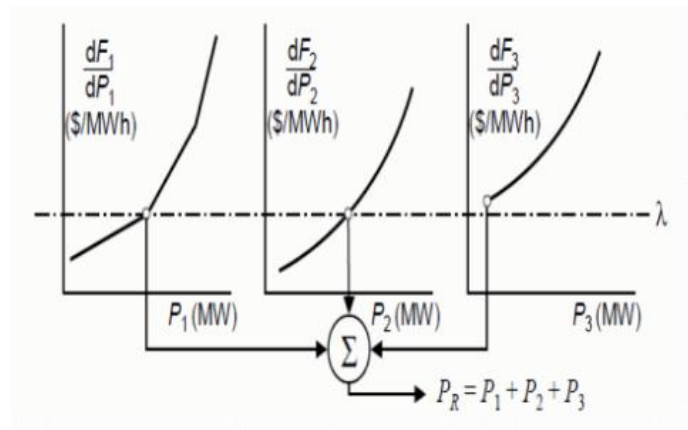
$$a_0 \sum x_i^2 + a_1 \sum x_i^3 + a_2 \sum x_i^4 = \sum x_i^2 y_i$$

Sehingga dapat dimasukkan dalam bentuk matriks sebagai berikut.

$$\begin{pmatrix} n & \sum x_i & \sum x_i^2 \\ \sum x_i & \sum x_i^2 & \sum x_i^3 \\ \sum x_i^2 & \sum x_i^3 & \sum x_i^4 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} a_0 \\ a_1 \\ a_2 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \sum y_i \\ \sum x_i y_i \\ \sum x_i^2 y_i \end{pmatrix}$$

2.5 Metode Iterasi Lambda

Iterasi Lambda adalah salah satu metode yang digunakan dalam *Economic Dispatch* di mana λ atau tingkat biaya tambahan diasumsikan terlebih dahulu. Dimisalkan kita mempunyai tiga unit pembangkit dan berharap untuk menemukan titik operasi optimum yang ekonomis. Satu pendekatan untuk melakukan plot pada karakteristik biaya tambahan untuk setiap unit pada grafik yang sama, seperti membuat sketsa pada Gambar 2.3.

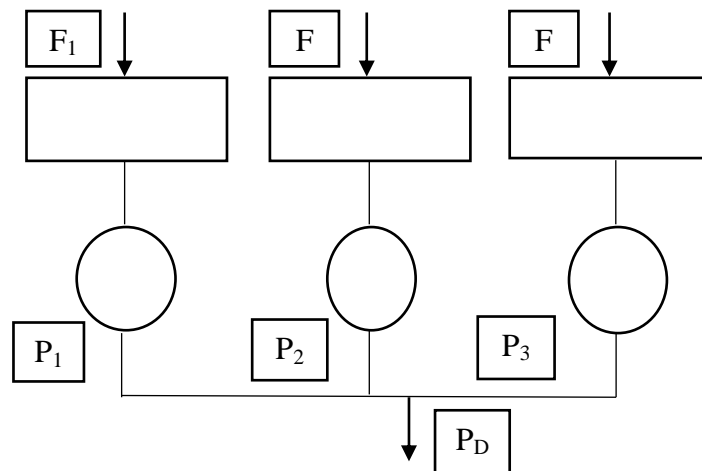


Gambar 2.3 Grafik Solusi untuk *Economic Dispatch*

Dalam membuat titik operasi dari setiap unit seperti kita memiliki biaya minimum dan pada waktu yang sama memenuhi permintaan yang sudah ditentukan, kita dapat menggunakan sketsa ini dan penggaris untuk menemukan solusi. Oleh karena itu, kita dapat mengasumsikan sebuah λ menemukan keluaran daya dari setiap unit untuk biaya tambahan.

Estimasi pertama akan menjadi salah. Jika kita telah mengasumsikan nilai dari biaya tambahan seperti total keluaran daya terlalu kecil, kita harus meningkatkan nilai λ dan mencoba solusi yang lain. Dengan dua solusi, kita dapat meramalkan kemungkinan dari dua solusi untuk mendapatkan nilai yang diinginkan dari total daya yang diterima.

Dengan mengetahui total permintaan dan biaya tambahan, kita dapat dengan cepat menemukan titik operasi yang diinginkan. Apabila kita ingin, kita dapat membuat tabel yang menunjukkan total daya yang dipasok untuk tingkat biaya tambahan yang berbeda dan kombinasi dari unit[6].



Gambar 2.4 Konfigurasi Unit Generator Pada *Single Busbar*

Gambar 2.4 menunjukkan konfigurasi unit generator pada *single busbar*. F_i menunjukkan fungsi konsumsi bahan bakar, F_t adalah total biaya produksi, P_D adalah total permintaan daya, dan P_i adalah daya yang dibangkitkan unit.

$$F_t = \sum_{i=1}^{Ng} F_i = \sum_{i=1}^{Ng} \alpha_i + \beta_i P_i + \gamma_i P_i^2 \quad (2.11)$$

$$\sum_{i=1}^{Ng} P_i = P_D \quad (2.12)$$

Masalah ini dapat diselesaikan dengan menggunakan pengali Lagrange, yaitu

$$L = F_t + \lambda \left(P_D - \sum_{i=1}^{Ng} P_i \right) \quad (2.13)$$

Kondisi Pertama:

$$\frac{\partial L}{\partial P_i} = 0$$

$$\frac{\partial F_t}{\partial P_i} + \lambda(0 - 1) = 0$$

$$F_t = F_1 + F_2 + \dots + F_{Ng}$$

$$\frac{\partial F_t}{\partial P_i} = \frac{\partial F_i}{\partial P_i} = \lambda$$

$$\frac{\partial F_i}{\partial P_i} = \lambda, i=1, \dots, Ng \quad (2.14)$$

$$\beta_i + 2\gamma_i P_i = \lambda \quad (2.15)$$

Kondisi kedua:

$$\frac{\partial L}{\partial P_i} = 0$$

$$\sum_{i=1}^{Ng} P_i = P_D$$

$$P_i = \frac{\lambda - \beta_i}{2\gamma_i} \quad (2.16)$$

$$\sum_{i=1}^{Ng} \frac{\lambda - \beta_i}{2\gamma_i} = P_D \quad (2.17)$$

$$\lambda = \frac{P_D + \sum_{i=1}^{Ng} \frac{\beta_i}{2\gamma_i}}{\sum_{i=1}^{Ng} \frac{1}{2\gamma_i}} \quad (2.18)$$

Persoalan *Economic Dispatch* dengan menggunakan Iterasi Lambda dapat diselesaikan dengan menggunakan persamaan yang dikembangkan sesuai dengan Deret Taylor orde satu, yaitu

$$f(\lambda) = P_D \quad (2.19)$$

$$f(\lambda)^k + \left(\frac{df(\lambda)}{d\lambda} \right)^k \Delta\lambda^k = P_D \quad (2.20)$$

$$\Delta\lambda^k = \frac{\Delta P^k}{\left(\frac{\partial f(\lambda)}{\partial \lambda} \right)^k} = \frac{\Delta P^k}{\sum_{i=1}^{Ng} \left(\frac{dP_i}{d\lambda} \right)} \quad (2.21)$$

Sehingga $\Delta\lambda^k$ dapat ditulis sebagai berikut.

$$\Delta\lambda^k = \frac{\Delta P^k}{\sum_{i=1}^{Ng} \frac{1}{2c_i}} \quad (2.22)$$

$$\lambda^{(k+1)} = \lambda^k + \Delta\lambda^k \quad (2.23)$$

Di mana selisih daya

$$\Delta P^k = P_D - \sum_{i=1}^{Ng} P_i^k \quad (2.24)$$

Apabila besar permintaan daya sama dengan jumlah daya yang dibangkitkan oleh unit generator, maka dapat diperoleh total biaya pembangkitan yang diberikan pada Persamaan 2.25[7].

$$F_{total} = F_1 + F_2 + F_3 + \dots F_n \quad (2.25)$$

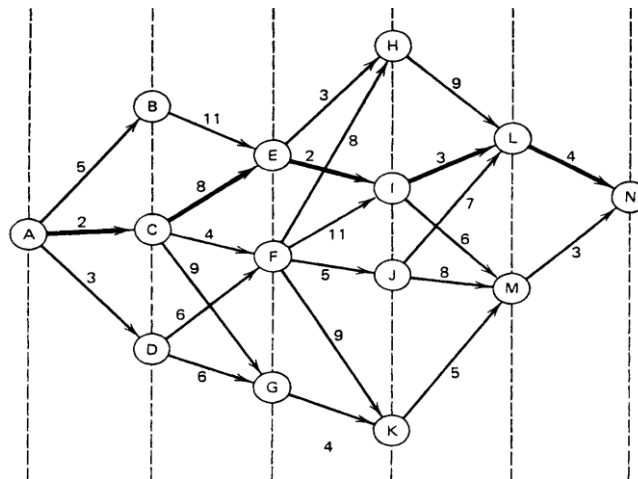
2.6 Metode *Dynamic Programming*

Dynamic Programming adalah cara untuk membangun masalah optimal bertingkat, yaitu masalah yang dapat digambarkan dalam bentuk tahapan yang saling memengaruhi satu dengan yang lainnya. Suatu permasalahan yang bertahap dapat diselesaikan dengan cara memisahkan masalah tersebut menjadi submasalah dengan berurutan dan saling berhubungan. Dalam hal ini, keputusan awal akan memengaruhi keputusan berikutnya[8].

Dynamic Programming adalah suatu metode untuk memecahkan permasalahan yang kompleks dengan memecahnya menjadi submasalah sederhana. Secara umum, untuk menyelesaikan suatu masalah, kita harus menyelesaikan bagian yang berbeda dari masalah tersebut atau submasalah, kemudian menggabungkan solusi dari submasalah tersebut sehingga menemukan solusi secara keseluruhan. Pendekatan *Dynamic Programming* berusaha memecahkan submasalah hanya sekali. Hal ini akan mengurangi jumlah perhitungan. Solusi pertama untuk submasalah telah dihitung dan kemudian akan disimpan. Selanjutnya akan menghitung solusi untuk submasalah berikutnya

dimana submasalah sebelumnya memengaruhi submasalah yang akan diselesaikan[9].

Dalam penjadwalan sistem pembangkit listrik, teknik *Dynamic Programming* telah dikembangkan untuk pengiriman sistem termal yang ekonomis. Pengertian *Dynamic Programming* diberikan dalam contoh satu dimensi. Gambar 2.5 merepresentasikan biaya pengiriman beban yang diberikan pada titik A ke titik N. Nilai yang terdapat pada busur adalah biaya atau pengiriman dari titik awal busur sampai titik akhir busur.



Gambar 2.5 Contoh Penyelesaian Menggunakan *Dynamic Programming*

Permasalahannya adalah untuk menemukan biaya minimum dari titik A ke titik N. Metode yang digunakan untuk menyelesaikan permasalahan ini adalah menggunakan metode *Dynamic Programming*.

- Dimulai dari A, jalur dengan biaya minimum menuju N adalah ACEILN.
- Dimulai dari C, jalur dengan biaya minimum menuju N adalah CEILN.
- Dimulai dari E, jalur dengan biaya minimum menuju N adalah EILN.
- Dimulai dari I, jalur dengan biaya minimum menuju N adalah ILN.
- Dimulai dari L, jalur dengan biaya minimum menuju N adalah LN.

Pilihan rute dibuat secara berurutan. Urutan yang optimum disebut dengan tahap optimal. Sub urutan yang optimum disebut sub tahap optimal. Sehingga dapat diketahui bahwa tahapan optimal hanya mengandung sub tahap optimal. Hal ini disebut dengan Teori Optimalitas[10].sssss

III. METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Waktu dan Tempat

Adapun waktu dan tempat akan dilaksanakan penelitian ini adalah

Waktu : November 2016 – Mei 2017

Tempat : Laboratorium Jurusan Teknik Elektro Universitas Lampung.

3.2 Alat dan Bahan

Adapun alat dan bahan yang digunakan pada penelitian ini adalah

1. Laptop HP Intel Inside Core i5 dengan sistem operasi Windows 8 sebagai media pembuatan laporan dan simulasi.
2. Perangkat lunak MATLAB 2014 untuk membuat simulasi dan melakukan perhitungan.
3. Data konsumsi bahan bakar, daya keluaran pembangkit, dan beban harian.

3.3 Tahap Penelitian

Adapun langkah kerja yang dilakukan pada penelitian ini adalah

1. Studi Literatur

Dalam mengerjakan tugas akhir, langkah awal yang harus dilakukan adalah mengumpulkan materi yang berhubungan dengan pembahasan yang diambil pada tugas akhir ini yang dapat diperoleh dari sumber primer maupun sumber sekunder, yaitu buku, jurnal, atau *website*.

2. Studi Bimbingan

Penulis dapat bertanya dan mendiskusikan pembahasan yang diambil pada tugas akhir ini dengan dosen pembimbing dan pembimbing lapangan agar dapat mengatasi permasalahan pada tugas akhir dan mengerjakan laporan dengan terarah sesuai dengan ketentuan.

3. Pengambilan dan Pengolahan Data

Penulis melakukan pengambilan data yang dibutuhkan untuk penelitian dan kemudian data akan diolah dengan menggunakan metode yang telah ditentukan agar selanjutnya dapat memperoleh hasil yang sesuai dengan tujuan yang diinginkan.

4. Simulasi

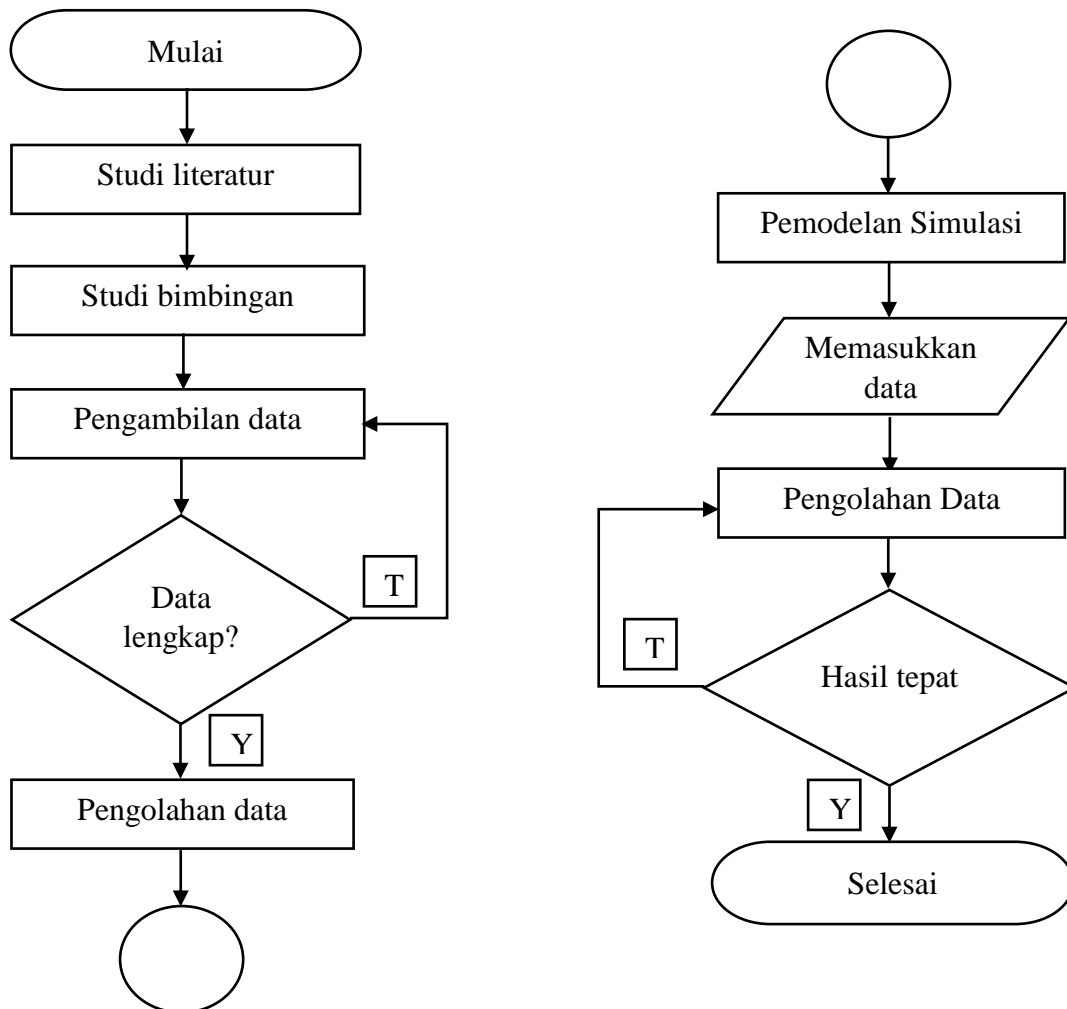
Penulis membuat kode program pada perangkat lunak yang digunakan sesuai dengan metode yang dipilih. Kemudian memasukkan parameter yang dibutuhkan untuk melakukan perhitungan. Apabila simulasi berhasil, maka akan diperoleh hasil perhitungan yang sesuai dengan tujuan penelitian.

5. Pembuatan Laporan

Pembuatan laporan tugas akhir ini bertujuan untuk memaparkan hasil yang diperoleh dari penelitian yang dilakukan. Laporan dibagi menjadi dua, yaitu laporan usul yang dibuat saat akan melakukan penelitian dan laporan akhir yang dibuat saat penulis telah menyelesaikan penelitian dan menemukan kesimpulan dari penelitian yang telah dikerjakan.

3.4 Diagram Alir Penelitian

Adapun diagram alir untuk penelitian ini adalah



Gambar 3.1 Diagram Alir Penelitian

3.5 Tahap Perhitungan

Adapun perhitungan pada penelitian ini menggunakan dua metode, yaitu Iterasi Lambda dan *Dynamic Programming*.

3.5.1 Metode Iterasi Lambda

Adapun tahap perhitungan menggunakan metode Iterasi Lambda, yaitu

1. Memasukkan parameter yang akan digunakan pada perhitungan, yaitu konsumsi bahan bakar unit i (CF_i), daya yang dibangkitkan setiap unit i (P_i), dan permintaan daya (P_D).
2. Membuat persamaan fungsi konsumsi bahan bakar untuk setiap pembangkit menggunakan metode Regresi Polinomial Orde 2.

Dimisalkan:

P_i = daya yang dibangkitkan unit ke i .

F_i = biaya bahan bakar unit ke i .

$$F_i = \alpha_i + \beta_i P_i + \gamma_i P_i^2 \quad (3.1)$$

$$N\alpha_i + \beta_i \sum P_i + \gamma_i \sum P_i^2 = \sum F_i$$

$$\alpha_i \sum P_i + \beta_i \sum P_i^2 + \gamma_i \sum P_i^3 = \sum P_i F_i$$

$$\alpha_i \sum P_i^2 + \beta_i \sum P_i^3 + \gamma_i \sum P_i^4 = \sum P_i^2 F_i$$

Dimasukkan ke dalam bentuk matriks.

$$\begin{pmatrix} n & \sum P_i & \sum P_i^2 \\ \sum P_i & \sum P_i^2 & \sum P_i^3 \\ \sum P_i^2 & \sum P_i^3 & \sum P_i^4 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} \alpha_i \\ \beta_i \\ \gamma_i \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \sum F_i \\ \sum P_i F_i \\ \sum P_i^2 F_i \end{pmatrix}$$

3. Selesaikan matriks sehingga akan diperoleh fungsi biaya konsumsi bahan bakar untuk setiap unit pembangkit.

$$F_i(P_i) = \alpha_i + \beta_i P_i + \gamma_i P_i^2 \quad (3.2)$$

4. Mengasumsikan besar tingkat biaya tambahan, λ^k .

$$\lambda = \frac{dF_i}{dP_i} \quad (3.3)$$

5. Menghitung besar daya yang dibangkitkan unit ke i , P_i .

$$P_i^k = \frac{\lambda - \beta_i}{2\gamma_i} \quad (3.4)$$

6. Menghitung selisih antara permintaan daya dan jumlah daya yang dibangkitkan unit, ΔP^k .

$$P_D = \sum_{i=1}^{Ng} \frac{\lambda - \beta_i}{2\gamma_i} \quad (3.5)$$

$$\Delta P^k = P_D - \sum_{i=1}^{Ng} P_i^k \quad (3.6)$$

7. Menghitung besar $\Delta \lambda^k$ untuk memperoleh besar tingkat biaya tambahan yang baru, $\lambda^{(k+1)}$

$$\Delta \lambda^k = \frac{\Delta P^k}{\left(\frac{\partial f(\lambda)}{\partial \lambda}\right)^k} = \frac{\Delta P^k}{\sum_{i=1}^{Ng} \left(\frac{dP_i}{d\lambda}\right)} = \frac{\Delta P^k}{\sum_{i=1}^{Ng} \frac{1}{2\gamma_i}} \quad (3.7)$$

8. Menghitung besar tingkat biaya tambahan yang baru, $\lambda^{(k+1)}$.

$$\lambda^{(k+1)} = \lambda^k + \Delta \lambda^k \quad (3.8)$$

9. Menghitung kembali besar daya yang dibangkitkan, P_i^{k+1} sampai diperoleh total daya yang dibangkitkan unit sama dengan kebutuhan beban.

10. Memasukkan besar daya, P_i^k ke dalam Persamaan 3.2.
11. Menghitung total konsumsi bahan bakar, TotalCF, dengan menjumlahkan konsumsi bahan bakar setiap pembangkit.
12. Menghitung total biaya pembangkitan dengan mengalikan total konsumsi bahan bakar dengan harga bahan bakar dalam rupiah.

3.5.2 Metode *Dynamic Programming*

Adapun tahap perhitungan menggunakan metode *Dynamic Programming*, yaitu

1. Memasukkan parameter yang akan digunakan pada perhitungan, yaitu konsumsi bahan bakar unit i (CF_i), daya yang dibangkitkan setiap unit i (P_i), dan permintaan daya (P_D).
2. Membuat persamaan fungsi konsumsi bahan bakar untuk setiap pembangkit menggunakan metode Regresi Polinomial Orde 2 sehingga diperoleh persamaan 3.2.
3. Menentukan besar tingkat perubahan konsumsi bahan bakar, dho.
4. Membagi pembebanan sesuai jumlah pembangkit.

$$P = \frac{P_D}{N} \quad (3.9)$$

Dimana :

P = Daya, MW.

P_D = Total daya yang dibangkitkan, MW.

N = Jumlah pembangkit.

5. Menghitung besar daya yang dibangkitkan unit.

$$P_i = P \pm dho \quad (3.10)$$

Dimana :

P_i = Daya yang dibangkitkan unit i, MW.

P = Daya, MW.

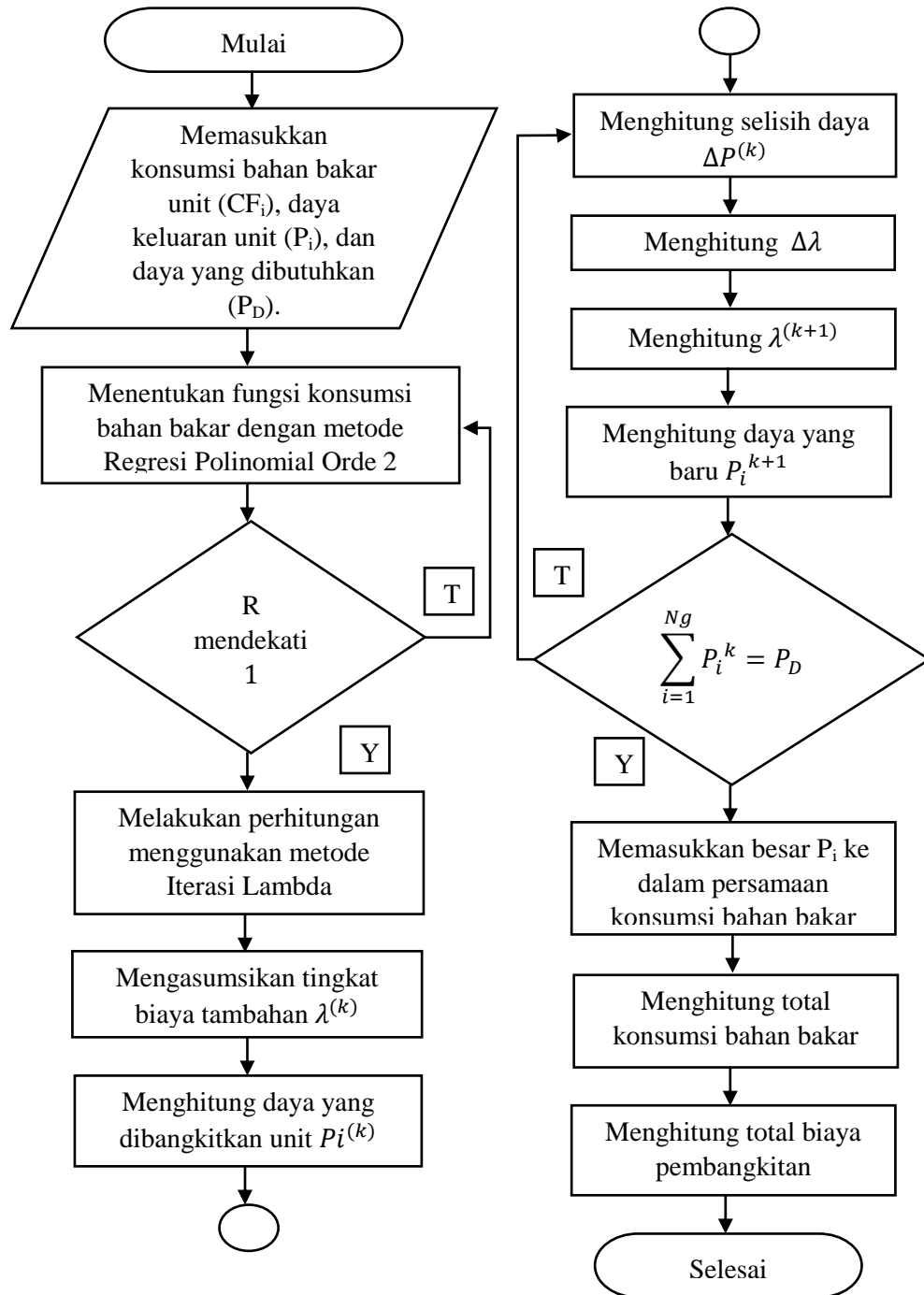
dho = Besar tingkat perubahan konsumsi bahan bakar, MW.

6. Menghitung total daya yang dibangkitkan dengan menjumlahkan P_i .
7. Menghitung besar konsumsi bahan bakar dengan memasukkan P_i ke dalam persamaan 3.2.
8. Menghitung total konsumsi bahan bakar, TotalCF, dengan menjumlahkan konsumsi bahan bakar setiap pembangkit.
9. Menghitung total biaya pembangkitan dengan mengalikan total konsumsi bahan bakar dengan harga bahan bakar dalam rupiah.

3.6 Diagram Alir Perhitungan

3.6.1 Metode Iterasi Lambda

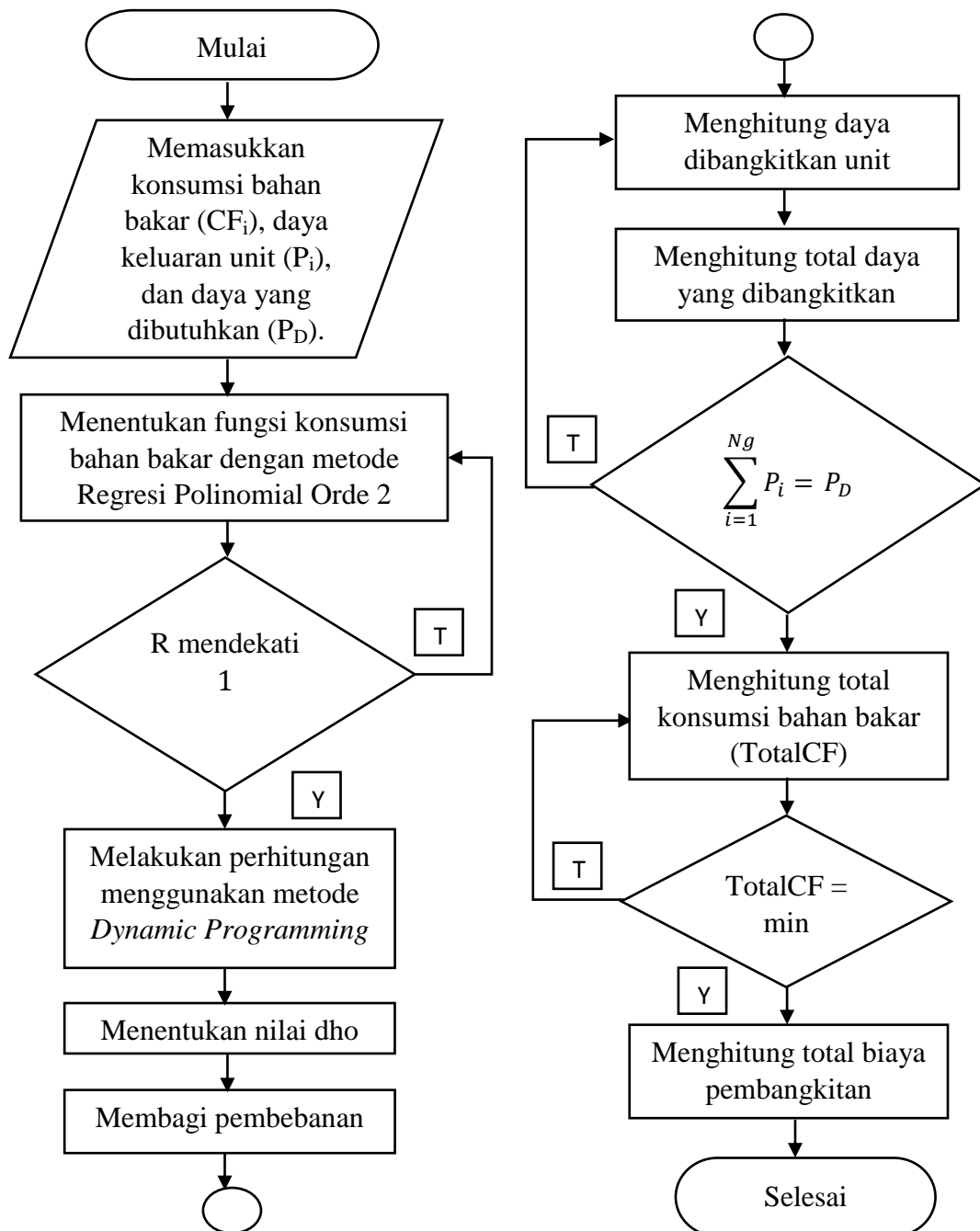
Adapun diagram alir untuk perhitungan pada penelitian ini adalah



Gambar 3.2 Diagram Alir Perhitungan Metode Iterasi Lambda

3.6.2 Metode *Dynamic Programming*

Adapun diagram alir untuk perhitungan menggunakan metode *Dynamic Programming* adalah



Gambar 3.3 Diagram Alir Perhitungan Metode *Dynamic Programming*

V. KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil dari analisis yang dilakukan, maka dapat diambil kesimpulan, yaitu

1. Hasil simulasi perhitungan dengan mengoperasikan pembangkit unit 3 dan unit 4 pada bulan Januari sampai dengan Maret 2017 dengan total energi yang dibangkitkan sebesar 150.673,13 MWh, yaitu dengan menggunakan metode Iterasi Lambda, total konsumsi bahan bakar adalah 89,733.35 ton dengan biaya sebesar Rp43,879,609,714.80 dan dengan menggunakan metode *Dynamic Programming* total konsumsi bahan bakar adalah 85,111.42 ton dengan biaya sebesar Rp41,619,483,402.00.
2. Metode *Dynamic Programming* lebih baik digunakan pada kasus ini dibandingkan dengan menggunakan metode Iterasi Lambda karena dengan menggunakan metode *Dynamic Programming*, kita dapat menghemat konsumsi bahan bakar sebesar 4,621.94 ton dengan biaya Rp2,260,126,312.80 pada bulan Januari sampai dengan Maret 2017.

5.2 Saran

Adapun saran yang diberikan untuk penelitian selanjutnya adalah

1. Analisis *Economic Dispatch* dapat dilakukan dengan membandingkan metode yang lebih banyak agar dapat memperoleh biaya yang paling murah dari semua metode yang digunakan.
2. Perhitungan dapat dilakukan dengan jumlah pembangkit yang lebih banyak dalam suatu sistem pembangkitan.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Ferdiansah, Teguh. Wibowo, Rony Seto. Suryoatmojo, Heri. “*Dynamic Economic Dispatch Dengan Kurva Biaya Pembangkitan Yang Tidak Smooth Menggunakan Particle Swarm Optimization*”, Jurnal Teknik Pomits Vol. 1, No. 1, (2013) 1-6.
- [2] Syah, Khairudin. Dachlan, Harry Soekotjo. Hasanah, Rini Nur. Shidiq, Mahfudz. “*Analisis Perbandingan Economic Dispatch Pembangkit Menggunakan Metode Lagrange dan CFPSO*”, Jurnal EECCIS Vol.6, No.1, Juni 2012.
- [3] Asmar. Yassir. Hasanuddin, Teuku. “*Pembuatan Aplikasi Untuk Analisis Economic Dispatch Stasiun Pembangkit Tenaga Listrik*”, Electricisan, Vol. 1, No.1, Mei 2014.
- [4] Nawari. 2010. *Analisis Regresi dengan MS Excel 2007 dan SPSS 17*. Jakarta: PT. Elex Media Komputindo.
- [5] Sivaraganaju, S. Sreenevasan, G. 2010. *Power System Operation and Control*. India: Dorling Kindersley (India) Pvt. Ltd.
- [6] Wood, Allen J. Wollenberg, Bruce F. 1996. *Power Generation, Operation, and Control*. John Wiley & Sons, Inc.
- [7] Saadat, Hadi. 1999. *Power System Analysis*. United States of America: McGraw-Hills.

- [8] Luciana, Erlina. 2009. *Simulasi Perhitungan Pembebanan Ekonomis Pada Pusat Listrik Tenaga Diesel Dengan Metode Dynamic Programming*. Semarang: Universitas Diponegoro.
- [9] Mishra, Anju. Nehru, Gunjan. AshishPandey. “*Dynamic Programming Solution for Query Optimization in Homogeneous Distributed Database*”, International Journal of Engineering Research & Technology (IJERT) Vol. 1 Issue 6, August - 2012 ISSN: 2278-0181.
- [10] Kaufmann, A. 1967. *Graphs, Dynamic Programming, and Finite Games*. New York: Academic Press Inc.
- [11] Dogra, Rahul. “*Economic Load Dispatch Problem and Mat lab Programming of Different Methods*”, International Conference of Advance Research and Innovation (ICARI-2014) ISBN 978-93-5156-328-0.
- [12] Dike, Damian Obioma. Adinfo, Moses Izuchukwu. Ogu, George. “*Economic Dispatch of Generated Power Using Modified Lambda-Iteration Method*”, IOSR Journal of Electrical and Electronics Engineering (IOSR-JEEE) e-ISSN: 2278-1676, p-ISSN: 2320-3331, Volume 7, Issue 1 (Jul. - Aug. 2013), PP 49-54.
- [13] Dhamanda, Ashish. “*A Traditional Approach to Solve Economic Load Dispatch Problem of Thermal Generating Unit Using MATLAB Programming*”, International Journal of Engineering Research & Technology (IJERT) Vol. 2 Issue 9, September – 2013 ISSN: 2278-0181.
- [14] Iskandar, Handoko Rusdiana. 2014. *Economic Dispatch of Thermal Units and Methods of Solution*. Bandung: Institut Teknologi Bandung.

- [15] Pujiyanta, Ardi. 2007. *Komputasi Numerik dengan Matlab*. Yogyakarta: Penerbit Graha Ilmu.
- [16] Santosa, Budi. 2008. *Matlab Untuk Statistika & Teknik Optimasi*. Yogyakarta: Graha Ilmu.