

**ANALISIS *ECONOMIC DISPATCH* PADA PEMBANGKIT TERMAL
SISTEM 500 KV JAWA BALI MENGGUNAKAN METODE *FIREFLY*
ALGORITHM**

SKRIPSI

TEKNIK ELEKTRO KONSENTRASI TEKNIK ENERGI ELEKTRIK

Ditujukan untuk memenuhi persyaratan
memperoleh gelar Sarjana Teknik



MUHAMMAD RAHMATULLAH AL-QAEDI

NIM. 135060301111116

UNIVERSITAS BRAWIJAYA

FAKULTAS TEKNIK

MALANG

2018

repository.ub.ac.id

LEMBAR PENGESAHAN
**ANALISIS *ECONOMIC DISPATCH* PADA PEMBANGKIT TERMAL
SISTEM 500 KV JAWA BALI MENGGUNAKAN METODE *FIREFLY*
ALGORITHM**

SKRIPSI

TEKNIK ELEKTRO KONSENTRASI TEKNIK ENERGI ELEKTRIK

Ditujukan untuk memenuhi persyaratan
memperoleh gelar Sarjana Teknik



MUHAMMAD RAHMATULLAH AL-QAEDI
NIM. 135060301111116

Skripsi ini telah direvisi dan disetujui oleh dosen pembimbing
pada tanggal 30 Mei 2018

Dosen Pembimbing I

Dosen Pembimbing II

Hadi Suyono, S.T., M.T., Ph.D., IPM.
NIP. 19730520 200801 1 013

Dr. Rini Nur Hasanah, S.T., M.Sc.
NIP. 19680122 199512 2 001

Mengetahui,
Ketua Jurusan Teknik Elektro

Hadi Suyono, S.T., M.T., Ph.D., IPM.
NIP. 19730520 200801 1 013



JUDUL SKRIPSI:

ANALISIS *ECONOMIC DISPATCH* PADA PEMBANGKIT TERMAL SISTEM 500 KV JAWA BALI MENGGUNAKAN METODE *FIREFLY ALGORITHM*

Nama Mahasiswa : MUHAMMAD RAHMATULLAH AL-QAEDI

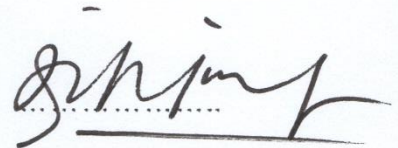
NIM : 135060301111116

Program Studi : TEKNIK ELEKTRO

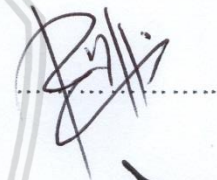
Konsentrasi : TEKNIK ENERGI ELEKTRIK

Komisi Pembimbing :

Ketua : Hadi Suyono, S.T., M.T., Ph.D., IPM.

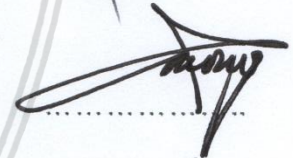


Anggota : Dr. Rini Nur Hasanah, S.T., M.Sc.

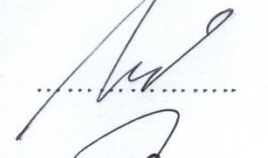


Tim Dosen Penguji :

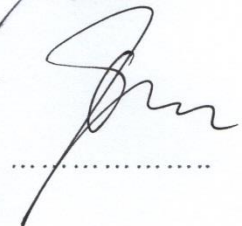
Dosen Penguji 1 : Drs. Ir. Moch. Dhofir, M.T.



Dosen Penguji 2 : Dr. Ir. Hari Santoso, M.S.

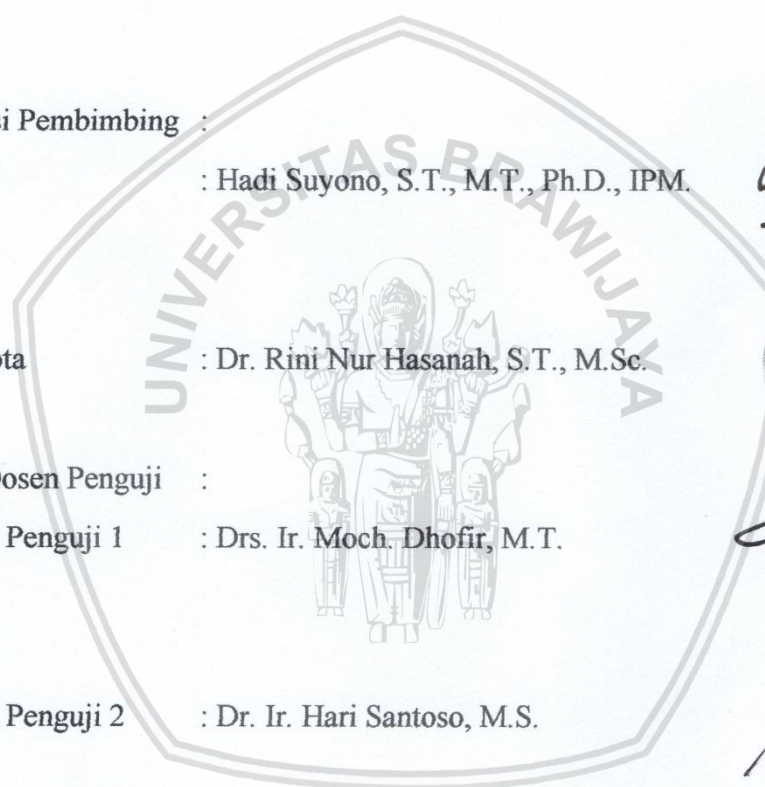


Dosen Penguji 3 : Ir. Unggul Wibawa, M.Sc.



Tanggal Ujian : 24 Mei 2018

SK Penguji : 1092/UN10.F07/SK/2018



PERNYATAAN ORISINALITAS SKRIPSI

Saya menyatakan dengan sebenar-benarnya bahwa sepanjang pengetahuan saya dan berdasarkan hasil penelusuran berbagai karya ilmiah, gagasan dan masalah ilmiah yang diteliti dan diulas didalam Naskah Skripsi adalah asli dari pemikiran saya, tidak terdapat karya ilmiah yang pernah diajukan oleh orang lain untuk memperoleh gelar akademik disuatu perguruan tinggi dan tidak terdapat karya atau pendapat yang pernah ditulis atau diterbitkan oleh orang lain, kecuali secara tertulis dikutip dalam naskah ini dan disebutkan dalam sumber kutipan dan daftar pustaka.

Apabila ternyata didalam naskah Skripsi ini dibuktikan terdapat unsur-unsur jiplakan, saya bersedia Skripsi dibatalkan, serta diproses sesuai peraturan perundang-undangan yang berlaku (UU No.20 Tahun 2003, pasal 25 ayat 2 dan pasal 70).

Malang, 30 Mei 2018

Mahasiswa



Muhammad Rahmatullah Al-Qaedi

NIM. 135060301111116





*Teriring Ucapan Terima Kasih kepada :
Ayahanda Sudirman Kati dan Ibunda Hasnawati tercinta*



RINGKASAN

Muhammad Rahmatullah Al-Qaedi, Jurusan Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Brawijaya. Mei 2018. *Analisis Economic Dispatch Pada Pembangkit Termal Sistem 500 Kv Jawa Bali Menggunakan Metode Firefly Algorithm*. Dosen Pembimbing : Hadi Suyono, S.T., M.T., Ph.D., IPM. dan Dr. Rini Nur Hasanah, S.T., M.Sc.

Penelitian ini memaparkan tentang penggunaan metode *Firefly Algorithm* pada *economic dispatch* sistem 500 kV Jawa-Bali dengan membuat pembagian pembangkit dan mencari kombinasi terbaik dalam proses evaluasi metode *Firefly Algorithm*. Proses evaluasi dalam metode *Firefly Algorithm* harus ditentukan oleh nilai parameter *Firefly Algorithm*, dan *Gbest*. Proses evaluasi akan berhenti jika biaya pada pembagian daya sudah konvergen atau nilainya saling dekat. Pada penelitian kali ini proses evaluasi sebanyak 50 iterasi untuk jaringan Bus 30 dan 500 iterasi untuk jaringan Jawa Bali 500 kV.

Total biaya operasional pada sistem kelistrikan 500 kV Jawa-Bali dengan beban harian per jam berdasarkan data yang diperoleh dari Sunaryatiningsih (2016) menggunakan metode *Firefly Algorithm* sebesar Rp. 16.979254.759,- pada hari Kamis 4 Desember 2011, Rp. 15.459.428.926,- pada hari Sabtu 6 Desember 2011 dan Rp. 14.505.474.175 pada hari Minggu 7 Desember 2011. Total biaya penghematan operasional unit pembangkit menggunakan metode *Firefly Algorithm* pada hari Kamis, Sabtu dan Minggu berturut-turut dibandingkan dengan metode *Langrange* adalah Rp. 2.499.548.438,-, Rp. 1.884.172.621,-, dan Rp. 2.099.755.016,-. Dimana dari beban harian yang didapatkan dengan menggunakan metode *Firefly Algorithm* lebih efisien dibandingkan dengan metode *Langrange*. Dari hasil analisis didapatkan metode *Firefly Algorithm* dapat memperkecil biaya pembangkitan, sehingga metode ini cukup optimal untuk mengoptimalkan biaya pembangkitan.

Kata kunci : *Economic Dispatch, Firefly Algoritihm, Jaringan 500 kV Jawa-Bali, Total Biaya Pembangkitan*

SUMMARY

Muhammad Rahmatullah Al-Qaedi, Department of Electrical Engineering, Faculty of Engineering, University of Brawijaya. Mei 2018. *Economic Dispatch Analysis on Thermal Generation System 500 Kv Java Bali Using Firefly Algorithm Method*. Academic Supervisor : Hadi Suyono, S.T., M.T., Ph.D., IPM. and Dr. Rini Nur Hasanah, S.T., M.Sc.

This research describes the use of Firefly Algorithm method on economic dispatch system 500 kV Java-Bali by making the division of generator and find the best combination in the process of evaluation of Firefly Algorithm method. The evaluation process in the Firefly Algoritihm method must be determined by the value of the Firefly Algorithm, and Gbest parameters. The evaluation process will stop if the cost of the power division is already convergent or its value is close to each other. In this research the evaluation process is 50 iterations for bus network 30 and 500 iteration for Java Bali 500 kV network.

Total operational cost in 500 kV Java-Bali electricity system with daily load per hour based on data obtained from Sunaryatiningsih (2016) using Firefly Algorithm method of Rp. 16.979254.759, - on Thursday December 4, 2011, Rp. 15,459,428,926, - on Saturday 6 December 2011 and Rp. 14,505,474,175 on Sunday 7 December 2011. The total operational cost of generating units using Firefly Algoritihm method on Thursday, Saturday and Sunday respectively compared to Langrange method is Rp. 2.499.548.438, -, Rp. 1.884.172.621, -, and Rp. 2.099.755.016, -. Where from the daily load obtained by using the Firefly Algorithm method is more efficient than the Langrange method. From the analysis results obtained Firefly Algorithm method can minimize the cost of generation, so this method is optimal enough to optimize the cost of generation.

Keywords: Economic Dipatch, Firefly Algoritihm, 500 kV Java-Bali Network, Total Cost of Generation

PENGANTAR

Puji syukur kehadiran Allah SWT dengan rahmat dan hidayah-Nya skripsi berjudul “Analisis *Economic Dispatch* pada Pembangkit Termal Sistem 500 kV Jawa Bali Menggunakan Metode *Firefly Algorithm*” dapat terselesaikan. Dalam kesempatan ini diucapkan terima kasih kepada yang telah berkenan memberikan bantuan secara langsung maupun tidak langsung kepada:

1. Bapak Hadi Suyono, S.T., M.T., Ph.D., IPM. selaku Ketua Jurusan Teknik Elektro Universitas Brawijaya dan dosen pembimbing I skripsi atas segala bimbingan, kritik, dan saran yang telah diberikan.
2. Ibu Ir. Nurussa’adah, M.T. selaku Sekretaris Jurusan Teknik Elektro Universitas Brawijaya.
3. Ibu Dr. Rini Nur Hasanah, S.T., M.Sc. selaku Ketua Kelompok Dosen Keahlian Teknik Energi Elektrik dan dosen pembimbing II skripsi atas segala bimbingan, kritik, dan saran yang telah diberikan.
4. Bapak Ali Mustofa, S.T., M.T. selaku Ketua Program Studi Jurusan Teknik Elektro Universitas Brawijaya.
5. Bapak Ir. Sigit Kusmaryanto, M.Eng. selaku dosen pembimbing akademik, beserta seluruh dosen dan karyawan Jurusan Teknik Elektro yang selalu membantu selama perkuliahan.
6. Ayah, Ibu dan Adik-adikku serta seluruh keluarga besar atas segala macam dukungan yang telah diberikan.
7. Seluruh teman-teman angkatan 2013 (Spectrum), terutama teman-teman konsentrasi Teknik Energi Elektrik (Power 2013) yang telah berbagi suka dan duka dalam perkuliahan dan memberikan semangat dalam proses pengerjaan skripsi ini.
8. Teman-teman Himpunan Elektro khususnya Departemen Eksternal yang telah memberikan pengalaman dan pembelajaran selama perkuliahan ini.
9. Teman-teman Grup “Power Ranger” dan “Silaturahmi” terima kasih atas canda tawa, semangat dan kebersamaan selama ini.
10. Teman-teman Dara Daeng Brawijaya, Irfan, Amel, Kak Sultan dan yang lainnya yang tidak bisa disebutkan satu persatu, terima kasih atas sharing, bantuan, pengalaman, pembelajaran yang tidak ada harganya.
11. Semua pihak yang telah membantu dan tidak bisa disebutkan satu persatu, terimakasih banyak atas semua bantuannya.

Disadari bahwa skripsi ini masih belum sempurna. Oleh karena itu, sangat diharapkan kritik dan saran yang membangun dan diharapkan agar skripsi ini dapat bermanfaat bagi pengembangan ilmu pengetahuan dan teknologi serta bagi masyarakat.

Malang, 20 Mei 2018

Penulis



DAFTAR ISI

	Halaman
PENGANTAR	i
DAFTAR ISI	iii
DAFTAR TABEL	v
DAFTAR GAMBAR	vii
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	2
1.3 Batasan Masalah	2
1.4 Tujuan	3
1.5 Manfaat	3
1.6 Sistematika	3
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	5
2.1 Sistem Tenaga Listrik	5
2.2 Operasi Sistem Tenaga Listrik	6
2.3 Pembangkit Listrik	7
2.4 Unit Pembangkit Thermal	8
2.5 <i>Economic Dispatch</i>	11
2.6 Metode <i>Firefly Algorithm</i>	14
2.7 Parameter <i>Firefly Algorithm</i>	16
BAB III METODE PENELITIAN	19
3.1 Studi Literatur	19
3.2 Pembuatan dan Pengujian Program Perhitungan	19
3.3 Data Penelitian	19
3.4 Implementasi Metode <i>Firefly Algorithm</i> dalam <i>Economic Dispatch</i>	20
3.5 Algoritma Metode <i>Firefly Algorithm</i>	20
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN	23
4.1 Data Validasi <i>IEEE 30 Bus</i>	23
4.2 Simulasi Metode <i>Firefly Algorithm</i> Data <i>IEEE 30 Bus</i>	26
4.3 Sistem 500 kV Jawa Bali	36
4.3.1 Simulasi <i>Economic Dispatch</i> dengan Metode <i>Firefly Algorithm</i>	38
4.3.2 Data Pembangkit Termal Sistem 500 kV Jawa-Bali	43
4.3.3 Analisis Perhitungan Sistem 500 kV Jawa-Bali	44
4.3.4 Beban Sistem Unit Termal	44
4.3.5 Analisis Penjadwalan Pembangkit Termal Sistem 500 kV Jawa-Bali	45
4.4 Analisis Perbandingan Metode <i>Firefly Algorithm</i> dengan Metode <i>Lagrange</i>	47
4.5 Beban Sistem 500 kV Jawa-Bali pada 19 April 2011	59
4.5.1 Analisis Penjadwalan Pembangkit Termal Sistem 500 kV Jawa-Bali	59
4.5.2 Analisis Perbandingan Metode <i>Firefly Algorithm</i> dengan Metode <i>Lagrange</i>	61



BAB V PENUTUP	65
5.1 Kesimpulan	65
5.2 Saran	66
DAFTAR PUSTAKA	67
LAMPIRAN	69



DAFTAR TABEL

No	Judul	Halaman
Tabel 2.1	Parameter <i>Firefly Algoritma</i>	17
Tabel 4.1	Data Pembebanan Sistem Standar <i>IEEE 30 Bus</i>	25
Tabel 4.2	Data Pembangkitan Sistem Standar <i>IEEE 30 Bus</i>	26
Tabel 4.3	Data Fungsi Biaya Standar <i>IEEE 30 Bus</i>	26
Tabel 4.4	Pembagian Daya Pembangkit <i>IEEE 30 Bus</i> dengan beban 283,4 MW ..	33
Tabel 4.5	Hasil Simulasi dengan metode lain (283,4 MW Beban).....	33
Tabel 4.6	Penjadwalan <i>IEEE 30 Bus</i> selama 24 jam menggunakan Metode <i>FA</i>	34
Tabel 4.7	Data Pembangkit dan Batas Daya Maksimum-Minimum Jawa-Bali 500 kV.....	36
Tabel 4.8	Pembagian Bus setiap pembangkit	37
Tabel 4.9	Fungsi Biaya Pembangkit Data 500 kV Jawa-Bali.....	38
Tabel 4.10	Data Unit Termal Sistem 500 kV Jawa-Bali.....	43
Tabel 4.11	Data Beban Unit Termal Sistem 500 kV Jawa-Bali	45
Tabel 4.12	Total Biaya pada Sistem 500kV Jawa-Bali menggunakan Metode <i>FA</i> ..	46
Tabel 4.13	Perbandingan Metode <i>FA</i> dan <i>Langrange</i> pada hari Kamis.....	47
Tabel 4.14	Perbandingan Metode <i>FA</i> dan <i>Langrange</i> pada hari Sabtu	48
Tabel 4.15	Perbandingan Metode <i>FA</i> dan <i>Langrange</i> pada hari Minggu.....	48
Tabel 4.16	Hasil Analisis kombinasi Penjadwalan Pembangkit pada 4 Desember 2011	52
Tabel 4.17	Hasil Analisis kombinasi Penjadwalan Pembangkit pada 6 Desember 2011	54
Tabel 4.18	Hasil Analisis kombinasi Penjadwalan Pembangkit pada 7 Desember 2011	56
Tabel 4.19	Data Beban Sistem 500 kV Jawa-Bali	58
Tabel 4.20	Tabel Total Biaya pada 19 April 2011 menggunakan Metode <i>FA</i>	59
Tabel 4.21	Perbandingan Metode <i>FA</i> dan <i>Langrange</i> pada hari Kamis.....	60
Tabel 4.22	Hasil Analisis Kombinasi Penjadwalan Pembangkit pada 19 April 2011	62



DAFTAR GAMBAR

No	Judul	Halaman
Gambar 2.1	Rangkaian Sistem Tenaga Listrik	5
Gambar 2.2	Sistem Pembangkit Termal	8
Gambar 2.3	Kurva Karakteristik <i>Input-Output</i> Unit Termal	9
Gambar 2.4	Kurva Karakteristik Kenaikan Biaya atau Panas Unit Termal	10
Gambar 2.5	Kurva Karakteristik Efisiensi terhadap <i>Output</i>	11
Gambar 3.1	<i>Single Line</i> Diagram Sistem Transmisi 500 kV Jawa-Bali.....	20
Gambar 3.2	<i>Flowchart</i> Optimasi <i>Economic Dispatch Firefly Algorithm</i>	22
Gambar 4.1	<i>Single Line</i> Diagram <i>IEEE 30 Bus</i>	24
Gambar 4.2	Grafik Iterasi Daya Pembangkit menggunakan Sistem <i>IEEE 30 Bus</i>	34
Gambar 4.3	Grafik Total Biaya dengan Data <i>IEEE 30 Bus</i> menggunakan Metode <i>FA</i>	35
Gambar 4.4	Grafik Total Biaya Pembangkit selama 24 jam dengan Iterasi sebanyak 100 kali.....	35
Gambar 4.5	<i>Single Line</i> Diagram Pembangkit Jawa-Bali 500 kV	37
Gambar 4.6	Grafik Perbandingan Metode <i>FA</i> dan <i>Langrange</i> hari Kamis	49
Gambar 4.7	Grafik Perbandingan Metode <i>FA</i> dan <i>Langrange</i> hari Sabtu	50
Gambar 4.8	Grafik Perbandingan Metode <i>FA</i> dan <i>Langrange</i> hari Minggu.....	50
Gambar 4.9	Grafik Iterasi Total Biaya 24 jam pada hari Kamis menggunakan Metode <i>FA</i>	51
Gambar 4.10	Grafik Iterasi Total Biaya 24 jam pada hari Sabtu menggunakan Metode <i>FA</i>	51
Gambar 4.11	Grafik Iterasi Total Biaya 24 jam pada hari Minggu menggunakan Metode <i>FA</i>	51
Gambar 4.12	Grafik Perbandingan Metode <i>FA</i> dan <i>Langrange</i> hari Kamis	61

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Energi listrik merupakan salah satu kebutuhan utama manusia terutama masyarakat di Indonesia. Energi listrik berperan penting di berbagai bidang usaha dan kegiatan manusia, hampir seluruh kebutuhan manusia tidak dapat dipisahkan dari energi listrik. Energi listrik mudah untuk dirubah ke dalam bentuk energi lain dan lebih ekonomis di mata masyarakat.

Seiring berkembangnya teknologi dan jumlah penduduk serta meningkatnya pembangunan suatu daerah mengakibatkan kebutuhan energi listrik akan semakin meningkat. Oleh karena itu untuk memenuhi energi listrik tersebut, perusahaan listrik dituntut untuk menyediakan energi listrik yang memadai.

Pembangkit listrik di Indonesia umumnya merupakan pembangkit listrik termal contohnya seperti PLTD, PLTU, PLTG dan PLTGU. Pembangkit listrik termal menggunakan energi panas dalam pengoperasiannya untuk membangkitkan listrik. Energi panas ini biasanya dalam bentuk bahan bakar fosil. Saat ini jumlah ketersediaan bahan bakar fosil ini semakin langka, hal ini berdampak semakin tingginya harga. Harga bahan bakar generator yang tinggi tentunya akan membuat biaya produksi energi listrik meningkat. Pertambahan beban pada unit pembangkit termal akan mendorong pertambahan jumlah bahan bakar per satuan waktu dan pada akhirnya akan meningkatkan pertambahan biaya per satuan waktu. Oleh karena itu, perlu dilakukan suatu upaya untuk mengurangi biaya operasi dengan mengurangi biaya bahan bakar sampai pada tingkat minimum.

Total biaya produksi dapat diminimalisir dengan adanya kombinasi pada pembebanan daya pada unit-unit pembangkit yang ada sehingga didapatkan suatu pembebanan yang optimal atau lebih ekonomis. Salah satu solusi untuk meminimalisir biaya produksi listrik dan efisiensi bahan bakar adalah dengan melakukan optimasi biaya bahan bakar pembangkit pada proses produksi listrik atau yang biasa disebut *Economic Dispatch*. *Economic Dispatch* telah banyak dilakukan penelitian dengan menggunakan berbagai metode optimasi. Salah satunya adalah menggunakan metode *Firefly Algorithm*. Latifa Dekichi, Khaled Belkadi, dan Pierre Borne meneliti mengenai *Economic Dispatch* dengan *Pollutan Emission* menggunakan metode *Firefly Algorithm*. Dari hasil penelitian dan

simulasi yang telah diuji, terbukti bahwa metode *Firefly Algorithm* ini memberikan hasil yang lebih efisien dan optimum (Dekichi et al., 2012).

Penelitian lainnya yang juga menggunakan metode *Firefly Algorithm* dalam menyelesaikan masalah *Economic Dispatch* adalah Subramanian. Hasil yang didapat dari metode *Firefly Algorithm* ini dibandingkan dengan hasil dari metode lain yaitu *Genetic Algorithm*, *Particle Swarm Optimization*, dan *Bacterial Foraging Optimization Algorithm*. Hasilnya adalah bahwa metode *Firefly Algorithm* merupakan solusi yang lebih optimum untuk permasalahan *Economic Dispatch* (Subramanian & Thanuskodi, 2013).

Sedangkan untuk penelitian ini, permasalahan *Economic Dispatch* akan diselesaikan menggunakan metode optimisasi *Firefly Algorithm*. *Firefly Algorithm* sendiri memiliki tiga strategi yang mampu bekerja secara serempak dengan sensitifitas tinggi yang dapat membantu proses pengoptimasian. Metode ini akan digunakan untuk menghitung kombinasi daya output masing-masing unit pembangkit sehingga diperoleh biaya pembangkitan yang minimum untuk nantinya menentukan harga pokok listrik.

1.2 Rumusan Masalah

Untuk menganalisis optimasi pembagian aliran daya yang mungkin diterapkan di Pembangkit Termal Sistem 500 kV Jawa Bali perlu dirumuskan suatu rumusan masalah sebagai berikut:

1. Bagaimana penggunaan metode *Firefly Algorithm* dalam penerapan *economic dispatch* pada sistem 500 kV Jawa Bali?
2. Berapa penghematan biaya operasional unit pembangkit pada pembangkit termal sistem 500 kV Jawa Bali setelah dianalisis menggunakan metode *Firefly Algorithm*?

1.3 Batasan Masalah

Agar didapatkan solusi dalam mengetahui total beban maksimum yang ditanggung pembangkit dan total biaya bahan bakar selama 24 jam pada pembangkit termal 500kV Jawa Bali maka perlu diberi batasan masalah sebagai berikut:

1. *Economic dispatch* hanya dilakukan pada pembangkit termal yang terhubung sistem transmisi 500 kV Jawa Bali.
2. Data yang digunakan adalah data sekunder yang tersedia.
3. Data yang digunakan adalah data karakteristik *input-output* pembangkit termal, data pembebanan maksimum dan minimum masing-masing unit, dan data kapasitas pembangkit.

4. Tidak membahas biaya rugi-rugi dan penyebab terjadinya rugi-rugi secara mendetail.
5. Perhitungan dilakukan dengan metode *Firefly Algorithm*.
6. Program menggunakan aplikasi *Matlab*.

1.4 Tujuan

Peneliti diharapkan dapat memberikan solusi dalam mengetahui total beban maksimum yang ditanggung pembangkit, total biaya bahan bakar selama 24 jam pada pembangkit termal 500kV Jawa Bali dengan menggunakan metode *Firefly Algorithm*, dan nilai ekonomis total biaya bahan bakar dengan menggunakan metode *Firefly Algorithm* jika dibandingkan dengan data riil sistem.

1.5 Manfaat

- a. Bagi Penulis, skripsi dapat dijadikan sarana pembelajaran tentang dasar-dasar optimasi energi listrik.
- b. Bagi pembaca, skripsi ini dapat bermanfaat sebagai penambah wawasan tentang penghematan sumber-sumber energi dalam penggunaannya.
- c. Bagi pembangkit termal sistem 500 kV Jawa Bali, skripsi ini dapat memberikan rekomendasi sehingga nantinya biaya pembangkitan bisa diminimalisir.

1.6 Sistematika Pembahasan

Sistematika penulisan yang digunakan dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

BAB I : PENDAHULUAN

Berisi latar belakang, rumusan masalah, batasan masalah, tujuan dan sistematika pembahasan.

BAB II : TINJAUAN PUSTAKA

Menjelaskan tentang teori-teori dasar dan penunjang tentang analisis penerapan *economic dispatch*.

BAB III : METODE PENELITIAN

Menjelaskan tentang metodologi yang digunakan dalam melakukan penerapan *economic dispatch*.

BAB IV : PEMBAHASAN

Berisi tentang pengaturan ulang nilai pembangkitan pada masing-masing unit pembangkitan dan setiap unit pembangkitan serta perubahan biaya bahan

bakar hasil analisis penerapan *economic dispatch* pada Pembangkit termal sistem 500 kV Jawa Bali

BAB V : PENUTUP

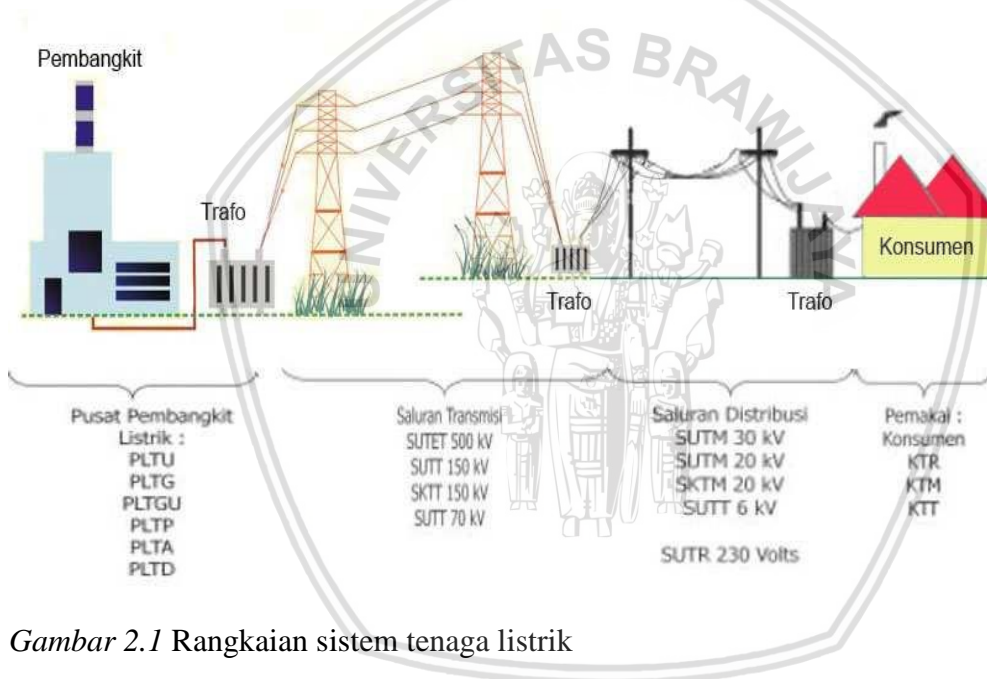
Berisi kesimpulan hasil penelitian dan saran untuk perkembangan penelitian selanjutnya.



BAB II TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Sistem Tenaga Listrik

Secara umum sistem tenaga listrik terdiri atas komponen tenaga listrik yaitu pembangkit tenaga listrik, sistem transmisi dan sistem distribusi. Ketiga bagian ini merupakan bagian utama pada suatu rangkaian sistem tenaga listrik yang bekerja untuk menyalurkan daya listrik dari pusat pembangkit ke pusat- pusat beban. Rangkaian sistem tenaga listrik dapat dilihat pada gambar 2.1 dibawah berikut:



Gambar 2.1 Rangkaian sistem tenaga listrik

Sumber: Suropto (2011, p.15)

Energi listrik yang dihasilkan di pusat pembangkit listrik akan disalurkan melalui saluran transmisi kemudian melalui saluran distribusi akan sampai ke konsumen. Berikut ini penjelasan mengenai bagian utama pada sistem tenaga listrik pada umumnya (Joko et al. 2010, p.1), yaitu:

1. Pusat Pembangkit Listrik (*Power Plant*)

Pusat pembangkit listrik merupakan tempat energi listrik pertama kali dibangkitkan, dimana terdapat turbin sebagai penggerak awal (*Prime Mover*) dan generator yang membangkitkan listrik dengan mengubah tenaga turbin menjadi energi listrik. Biasanya di pusat pembangkit listrik juga terdapat gardu induk. Peralatan utama



pada gardu induk antara lain: *transformer*, yang berfungsi untuk menaikkan tegangan generator (11,5kV) menjadi tegangan transmisi atau tegangan tinggi (150kV) dan juga peralatan pengaman dan pengatur. Secara umum, jenis pusat pembangkit dibagi kedalam dua bagian besar yaitu pembangkit hidro yaitu PLTA (Pembangkit Listrik Tenaga Air) dan pembangkit termal diantaranya yaitu PLTU (Pusat Listrik Tenaga Uap), PLTG (Pusat Listrik Tenaga Gas), PLTN (Pusat Listrik Tenaga Nuklir), dan PLTGU (Pusat Listrik Tenaga Gas Uap).

2. Transmisi Tenaga Listrik

Transmisi tenaga listrik merupakan proses penyaluran tenaga listrik dari pusat pembangkitan listrik hingga saluran distribusi listrik sehingga nantinya dapat tersalurkan pada pengguna listrik.

3. Sistem Distribusi

Sistem distribusi ini adalah sub sistem tenaga listrik yang langsung berhubungan dengan pengguna listrik dan pada umumnya berfungsi dalam hal penyaluran tenaga listrik ke beberapa tempat. Sub sistem ini terdiri dari: pusat pengatur atau gardu induk, gardu hubung, saluran tegangan menengah atau jaringan primer (6 kV dan 20 kV) yang berupa saluran udara atau kabel bawah tanah, saluran tegangan rendah atau jaringan sekunder (380 V dan 220 V), gardu distribusi tegangan yang terdiri dari panel-panel pengatur tegangan baik tegangan menengah ataupun tegangan rendah, dan trafo (Joko et al. 2010, p.1-3).

2.2 Operasi Sistem Tenaga Listrik

Pada bagian sebelumnya bisa dilihat pada gambar bagaimana sistem tenaga listrik yang mendeskripsikan hubungan antara masing-masing sistem listrik. Pembangkit-pembangkit listrik memiliki lokasi yang saling berjauhan satu sama lain dan terhubung satu sama lain melalui sistem transmisi yang luas untuk mendistribusikan tenaga listrik pada beban yang tersebar. Ini bisa dapat dikatakan sebagai sistem interkoneksi. Melalui adanya sistem interkoneksi tersebut menyebabkan (Nadjamuddin, 2011, p.141):

1. Keandalan sistem yang semakin tinggi.
2. Efisiensi pembangkitan tenaga listrik dalam sistem meningkat.
3. Mempermudah penjadwalan pembangkit.

Sebuah sistem tenaga listrik merupakan sebuah unit usaha dimana selain faktor teknis, faktor ekonomis juga diperhatikan karena pengaruhnya sangat dominan. Dalam pengeoperasian sistem tenaga listrik ini, pendapatan dan pengeluaran harus dijaga agar

tercipta kondisi yang seimbang sehingga dapat mencapai keuntungan yang layak. Pendapatan dalam sistem tenaga listrik ini berdasarkan jumlah penjualan listrik ke konsumen dan biasanya dalam bentuk pemakaian energi (kWh) serta harganya yang diatur dalam sistem tarif tertentu (di Indonesia menggunakan Keppres). Sedangkan pengeluaran dalam mengoperasikan sistem tenaga listrik ini meliputi: belanja pegawai, belanja barang dan jasa, pemeliharaan dan penyusutan, penelitian atau pengembangan, pajak, bahan baku energi (BBM, Batubara, Nuklir, Air, dsb), *Losses*, dan lain-lain.

Dalam pembangkitan tenaga listrik ada empat komponen biaya yang biasanya harus diperhitungkan (Nadjamuddin, 2011, p.141), yaitu:

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

Bagian terbesar dari pembiayaan dalam pembangkitan tenaga listrik adalah komponen C atau biaya bahan bakar yang mencakup hampir 70% dari total pembiayaan. Naik atau turunnya biaya bahan bakar tergantung pada penggunaan listrik oleh konsumen. Oleh karena itu, sangat diperlukan cara pengoperasian yang optimal (Nadjamuddin, 2011, p.142)

2.3 Pembangkit Listrik

Mengoperasikan suatu sistem tenaga listrik yang terdiri dari beberapa pusat pembangkit listrik memerlukan suatu koordinasi yang tepat dalam melakukan penjadwalan pembebanan besarnya daya listrik yang dibangkitkan oleh masing-masing pembangkit

listrik, sehingga diperoleh biaya pembangkit yang minimum.

Terdapat dua pokok permasalahan yang harus dipecahkan dalam operasi ekonomis pembangkitan pada sistem tenaga listrik (Nadjamuddin, 2011, p.186-187), yaitu:

a. Pengaturan Unit Pembangkit (*Unit Commitment*)

Penanganan biaya operasi pembangkit tenaga listrik bisa diminimalkan dengan cara 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 unit ini dilakukan untuk menentukan unit mana saja yang beroperasi dan tidak beroperasi pada jam-jam tertentu sehingga dapat dibuat kombinasi operasi dari unit-unit yang ada. Dalam mengatur unit-unit tersebut digunakan pertimbangan teknis dan ekonomis.

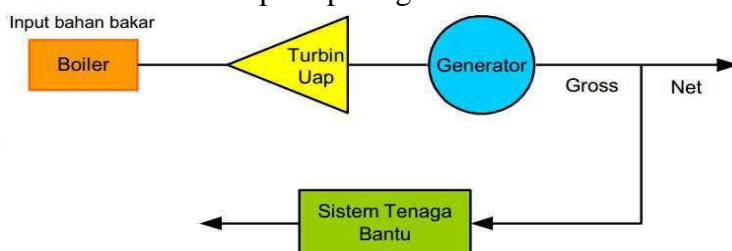
b. Penjadwalan Ekonomis (*Economic Dispatch*)

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 operasi pembangkitan.

Penjadwalan ekonomis (*Economic Dispatch*) merupakan salah satu pokok permasalahan dalam operasi ekonomis sistem tenaga listrik yang akan dibahas lebih detail khususnya dalam kasus pembangkit termal pada penulisan ini.

2.4 Unit Pembangkit Termal

Secara umum, unit pembangkit termal terdiri dari *boiler*, turbin, dan generator yang digunakan untuk mengubah bahan bakar menjadi energi listrik. Unit pembangkit termal bisa dilihat seperti pada gambar 2.2 berikut ini:



Gambar 2.2 Sistem pembangkit termal

Sumber: Penangsang (2011,p.1)

Dari gambar di atas, maka dapat diketahui beberapa karakteristik dari unit pembangkit termal (Saadat, 2004, p.270-271) yaitu :

a. Karakteristik *Input Output* Pembangkit Termal

Karakteristik *input-output* pembangkit menggambarkan hubungan antara *input* bahan bakar (Rp/jam) dan *output* yang dihasilkan oleh pembangkit (MW). Dengan mengetahui perbedaan karakteristik di antara semua pembangkit yang ada, optimasi pengoperasian pembangkit dapat dilakukan. Secara umum, karakteristik *input-output* pembangkit didekati dengan fungsi *polynomial* (Wood & Wollenberg, 1996, p.41), yaitu:

$$F(P) = a_i + b_i P + c_i P_i^2 \dots \dots \dots (2 - 1)$$

dengan:

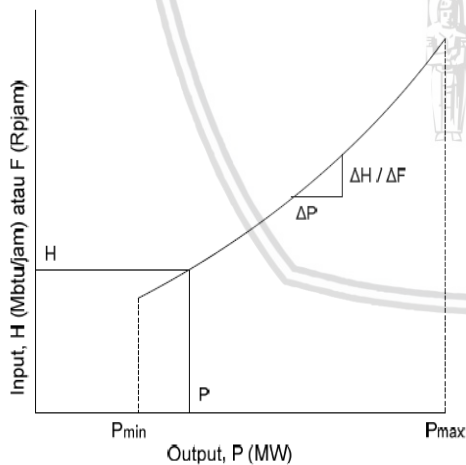
F(P) atau H = *input* bahan bakar (Btu/jam)

F = biaya bahan bakar pembangkit termal ke- i (Rp/jam)

P_i = *output* pembangkit termal ke- I (MW)

a_i, b_i, c_i = konstanta *input-output* pembangkit termal ke- i (Rp/jam)

i = indeks pembangkit ke i (i=1,2,3,...N)



Gambar 2.3 Kurva karakteristik *input-output* unit termal

Sumber: Saadat (2004, p.270)

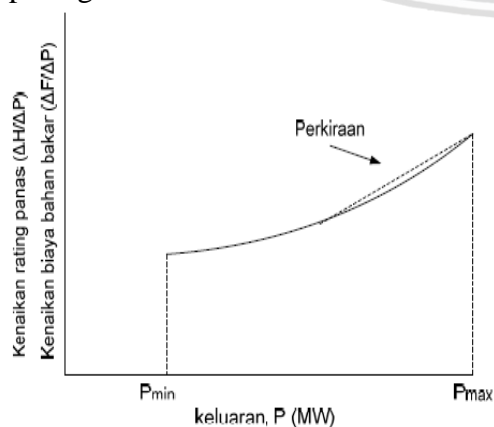
Gambar di atas menunjukkan karakteristik *input* dan *output* dari unit termal dalam bentuk yang ideal. *Input* dari pembangkit ditunjukkan pada sumbu tegak yaitu energi panas yang dibutuhkan dalam bentuk Mbtu/h (*Million of btu per hour*) karena

digunakan satuan *British Temperatur Unit* (apabila menggunakan SI menjadi MJ/h atau Kcal/H) atau biaya total per jam (Rp/jam). *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 pada pembangkit uap. Gambar ini juga digambarkan sebagai kurva non-linier yang kontinu (Saadat, 2004, p.270).

b. Karakteristik Kenaikan Biaya atau Panas Pembangkit Termal

Karakteristik lain yang perlu untuk diketahui dari suatu unit pembangkit termal adalah karakteristik laju kenaikan panas yang dapat juga dikatakan sebagai karakteristik kenaikan biaya. Bentuk karakteristik laju kenaikan panas ini dapat dilihat pada gambar 2.4. Karakteristik ini merupakan suatu kemiringan (*slope*) dari karakteristik *input* dan *output*. Pada karakteristik ini ditunjukkan nilai Btu per kWh atau Rp/kWh terhadap daya keluaran dalam satuan MW. Karakteristik ini lebih lanjut digunakan untuk perhitungan pembebanan ekonomis dari unit pembangkit. Jika persamaan *input-output* unit pembangkit dinyatakan dalam pendekatan (*aproksimasi*) dengan menggunakan persamaan kuadrat, maka karakteristik kenaikan biaya akan mempunyai bentuk garis lurus (Saadat, 2004, p.271).

Kurva karakteristik kenaikan biaya atau panas pembangkit termal dapat dilihat pada gambar di bawah ini:

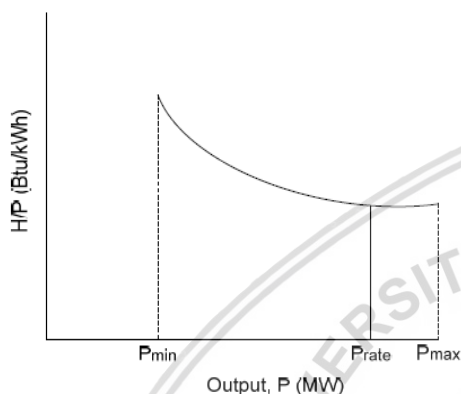


Gambar 2.4 Kurva karakteristik kenaikan biaya atau panas pembangkit termal

Sumber: Saadat (2004, p.271)

c. Karakteristik Efisiensi Terhadap *Output*

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. Kurva karakteristik efisiensi terhadap *Output* diberikan pada gambar 2.5.



Gambar 2.5 Kurva karakteristik efisiensi terhadap *output*

Sumber: Adrianti (2010)

Karakteristik laju panas pada gambar 2.5 menunjukkan kerja sistem dari sistem pembangkit termal seperti kondisi uap, temperatur panas, tekanan kondensor dan siklus aliran air secara keseluruhan. Pada karakteristik terlihat bahwa efisiensi yang baik sebuah pembangkit termal terletak pada daerah limit maksimalnya (Adrianti, 2010).

2.5 Economic Dispatch

Economic Dispatch (ED) merupakan pembagian daya yang harus dibangkitkan oleh generator dalam suatu sistem tenaga listrik sehingga diperoleh kombinasi unit pembangkit yang dapat memenuhi kebutuhan beban dengan biaya yang optimum. Tujuan utama *Economic dispatch* adalah meminimalkan konsumsi bahan bakar generator untuk memperoleh kondisi optimal. Penentuan daya *output* pada setiap generator hanya boleh bervariasi pada batas-batas (*constraint*) tertentu (B. H. Chowdhury & S. Rahman, 1990,

p.1248).

Penulisan ini memiliki batasan dalam *Economic Dispatch*, yaitu *equality* dan *inequality*. Batasan *equality* adalah suatu keseimbangan daya antara daya yang dibangkitkan dengan daya beban dan rugi transmisi. *Equality constraint* merupakan batasan kesetimbangan daya, yang mengharuskan total daya yang dibangkitkan oleh masing-masing pembangkit harus sama dengan jumlah total kebutuhan beban dan rugi-rugi transmisi. Batasan *inequality* adalah batas minimum dan maksimum pembangkitan suatu generator yang harus dipenuhi.

Untuk menghasilkan operasi ekonomis suatu sistem tenaga, maka diperlukan langkah penjadwalan ekonomis. Kesetimbangan pembangkitan daya riil sama dengan total beban. ditambah rugi-rugi disebut dengan *power balance*.

Dalam persamaan dapat dituliskan (Syah K., 2010, p.24):

$$P_G = P_R + P_L \dots\dots\dots (2-2)$$

$$P_G = \sum_{i=1}^n P_{Gi} \dots\dots\dots (2-3)$$

dengan:

P_G = Daya yang dibangkitkan generator (MW)

P_{Gi} = Daya yang dibangkitkan oleh generator i (MW)

n = Jumlah generator dalam sistem

P_R = Total beban sistem, termasuk daya busbar

P_L = Total rugi-rugi saluran transmisi

Pada kondisi operasi tertentu, terutama pada saat beban sistem rendah kemungkinan tidak semua generator yang bekerja. Yang bekerja adalah beberapa generator yang memiliki biaya operasi rendah. Biaya operasi sebuah generator meliputi biaya bahan bakar, tenaga kerja dan pemeliharaan. Diantara komponen-komponen biaya tersebut, biaya bahan bakar merupakan komponen biaya yang paling besar. Biaya bahan bakar sebuah generator dapat dinyatakan sebagai fungsi derajat dua dari daya *output* (Syah K., 2010, p.25):

$$F_i = a_i P_{Gi}^2 + b_i P_{Gi} + c_i \dots\dots\dots(2-4)$$

dengan:

F_i = Biaya bahan bakar generator i

a = koefisien derajat dua dari daya generator i

b = koefisien derajat 1 dari daya generator i

c = konstanta

Fungsi derajat dua di atas berlaku bagi masing-masing generator, sehingga biaya total pembangkitan untuk sebuah sistem yang terdiri dari m generator adalah (Syah K., 2010, p.25):

$$F_t = \sum_{i=1}^n F_i \dots\dots\dots(2-5)$$

F_t = Biaya total bahan bakar generator

Rugi-rugi daya nyata yang disebabkan saluran transmisi merupakan selisih dari total daya yang dibangkitkan semua generator dengan total daya yang diterima oleh beban

$$P_L = \sum_{i=1}^n P_{Gi} - P_R \dots\dots\dots(2-6)$$

Masing-masing pembangkit memiliki batasan yang dirumuskan sebagai berikut:

$$P_{min_i} > P_{Gi} > P_{max_i} \dots\dots\dots(2-7)$$

Inequality constraint mengharuskan daya *output* dari tiap unit lebih besar dari atau sama dengan daya minimum yang diperbolehkan serta lebih kecil dari atau sama dengan daya maksimum yang diperbolehkan (Wood & Wollenberg, 1996, p.29-32).

Masalah pengoperasian ekonomis sebuah sistem adalah bagaimana menentukan daya yang dibangkitkan oleh setiap generator yang bekerja bersama untuk memenuhi permintaan beban sedemikian rupa sehingga total biayanya adalah minimum. Secara matematis dapat dinyatakan sebagai berikut (Syah K., 2010, p.25):

$$F_i = \sum_{i=1}^n (a_i P_{Gi}^2 + b_i P_{Gi} + c_i) \dots\dots\dots (2-8)$$

Yang memenuhi syarat

$$\sum_{i=1}^n P_{Gi} - P_R - f_L(P_{G1}, P_{G2}, \dots, P_{Gn}) = 0 \dots\dots\dots (2-9)$$

2.6 Metode *Firefly Algorithm*

Metode *Firefly Algorithm* ini merupakan salah satu metode yang mungkin masih asing terdengar karena merupakan suatu evolusi baru dari algoritma komputasi yang penerapannya pada masalah optimasi. Metode ini termasuk dalam lingkup *Computational Intelligence* and *Metaheuristics*.

Metode ini terinspirasi oleh perilaku kunang-kunang, menarik satu sama lain dengan lampu berkedip. Hal ini sangat berguna untuk optimasi multimodal. *Firefly Algorithm* sendiri dibentuk dan dikembangkan oleh Dr. Xin She Yang pada tahun 2007. *Firefly Algorithm* merupakan algoritma yang didasarkan pada kebiasaan dari kunang-kunang (Daniyal, 2012, p.143).

Kunang-kunang pada umumnya menghasilkan sinar dalam durasi yang pendek dan memiliki ritme tertentu. Sinar dari kunang-kunang dihasilkan dari proses *bioluminescence*. Terdapat dua fungsi penting pada sinar kunang-kunang yaitu untuk menarik perhatian kunang-kunang yang lain untuk berkomunikasi dan untuk bertahan dari serangan pemangsa. Beberapa aturan yang diadopsi dari kebiasaan kunang-kunang untuk membentuk *Firefly Algorithm* (Xin S. Yang, 2009, p.169-178):

1. Semua kunang-kunang bersifat *unisex*, kunang-kunang akan tertarik satu dengan yang lain tanpa menghiraukan jenis kelamin.
2. Daya pikat (*Attractiveness*) dari kunang-kunang bersifat proporsional, bergantung pada tingkat intensitas sinar yang dipancarkan. Daya pikat kunang-kunang akan semakin berkurang pada saat jarak semakin bertambah. Jika diantara kunang-kunang tidak ada yang bersinar lebih terang, kunang-kunang akan bergerak dengan *random*.
3. Terang (*Brightness*) yang ditimbulkan kunang-kunang ditentukan oleh nilai *fitness* dari *objective function*.

Dari sini kemudian dapat diketahui bahwa *Firefly Algorithm* memiliki beberapa strategi yaitu diantaranya (Xin S. Yang, 2009, p.169-178):

1. *Acctractiveness*

Ada dua hal yang berkaitan dan sangat penting dalam *firefly algorithm* yaitu intensitas cahaya dan fungsi keatraktifan (*Acctractiveness*). Dalam hal ini kebanyakan yang berasumsi bahwa *acctractiveness* dipengaruhi oleh tingkat intensitas cahaya. Untuk kasus yang paling sederhana contohnya masalah optimisasi minimum, tingkat intensitas cahaya pada sebuah kunang-kunang x dapat dilihat sebagai berikut:

$$I(x) = 1/f(x) \dots\dots\dots(2-10)$$

Dengan nilai I merupakan tingkat intensitas cahaya pada x kunang-kunang yang sebanding terhadap solusi fungsi tujuan permasalahan yang akan dicari $f(x)$. *Acctractiveness* (β) yang bernilai relatif sebab intensitas cahaya harus dilihat dan dinilai oleh kunang-kunang lain. Dengan demikian, hasil penilaian akan berbeda tergantung dari jarak antara kunang-kunang yang satu dengan yang lainnya yaitu r_{ij} yang merupakan jarak variasi antara kunang-kunang i dengan kunang-kunang j . Selain itu, intensitas cahaya akan menurun dilihat dari sumbernya dikarenakan terserap oleh media contohnya udara γ . Dalam bentuk yang paling sederhana, intensitas cahaya $I(r)$ bervariasi sesuai dengan invers dari hukum kuadrat: $I(r) = \frac{I_s}{r^2}$

Dimana I_s adalah intensitas pada sumber. Untuk media tertentu dengan *light absorption coefficient* t yang tetap yaitu γ , Intensitas cahaya yang bervariasi dengan jarak r . Maka persamaannya adalah $I = I_0 e^{-\gamma r^2}$. Dimana I_0 intensitas cahaya yang asli. Untuk mengurangi nilai $r=0$ pada persamaan $\frac{I_s}{r^2}$, kombinasi antara invers dari hukum kuadrat dengan absorpsi dapat dilakukan pendekatan sebagai persamaan *Gaussian* berikut (Xin S. Yang, 2009, p.170):

$$I(r) = I_0 e^{-\gamma r^2} \dots\dots\dots(2-11)$$

Maka, Fungsi *Acctractiveness* ialah sebagai berikut:

$$\beta(r) = \beta_0 e^{-\gamma r^2} \dots\dots\dots(2-12)$$

2. *Distance Between Fireflies*

Jarak antara kunang-kunang i dan j pada lokasi x , x_i dan x_j dapat ditentukan ketika dilakukannya peletakan titik dimana *firefly* tersebut disebar secara *random* dalam diagram *kartesi* dengan fungsi sebagai berikut (Xin S. Yang, 2009, p.170):

$$r_{ij} = ||x_i - x_j|| = \sqrt{\sum_{k=1}^d (x_{i,k} - x_{j,k})^2} \dots\dots\dots(2-13)$$

atau

$$rij = \sqrt{(x_i - x_j)^2 + (y_i - y_j)^2} \dots\dots\dots (2-14)$$

Dimana selisih dari koordinat lokasi kunang-kunang i terhadap kunang kunang j merupakan jarak diantara keduanya (rij).

3. Movement of Firefly

Pergerakan kunang-kunang i yang bergerak menuju tingkat intensitas cahaya yang terbaik dapat dilihat dari persamaan berikut (Xin S. Yang, 2009, p.171):

$$x_i = x_i + \beta_0 e^{-\gamma r^2}_{i,j} + (x_j - x_i) + \alpha (rand - \frac{t}{2}) \dots\dots\dots (2-15)$$

Dimana variable awal x_i menunjukkan posisi awal kunang-kunang yang berada pada lokasi x , kemudian persamaan kedua yang terdiri dari variable $\beta_0 = 1$, variabel ini merupakan nilai keaktraktifan awal pada *firefly*, variabel (exp) bilangan eksponensial, variabel $\gamma = 1$ merupakan nilai untuk tingkat penyerapan pada lingkungan sekitar *firefly* yaitu udara dan terakhir rij merupakan variabel selisih jarak awal antara *firefly* i dan j . Semua variabel pada persamaan kedua tersebut diberikan dari fungsi keatraktifan *firefly* yang mana menentukan tingkat kecerahan. Selanjutnya persamaan ketiga terdiri dari selisih nilai solusi pada *firefly* i terhadap *firefly* j . Kemudian fungsi persamaan pergerakan *firefly* secara *random* ($rand$) yang menunjukkan adanya bilangan *random* yang kisarannya antara $[0,1]$. variabel α yang memiliki kisaran antara $[0,2]$. Semua variabel yang terbentuk pada persamaan pergerakan *firefly* menjamin cara kerja algoritma cepat menuju solusi yang optimal (Xin S. Yang, 2009, p.169-178).

2.7 Parameter Firefly Algorithm

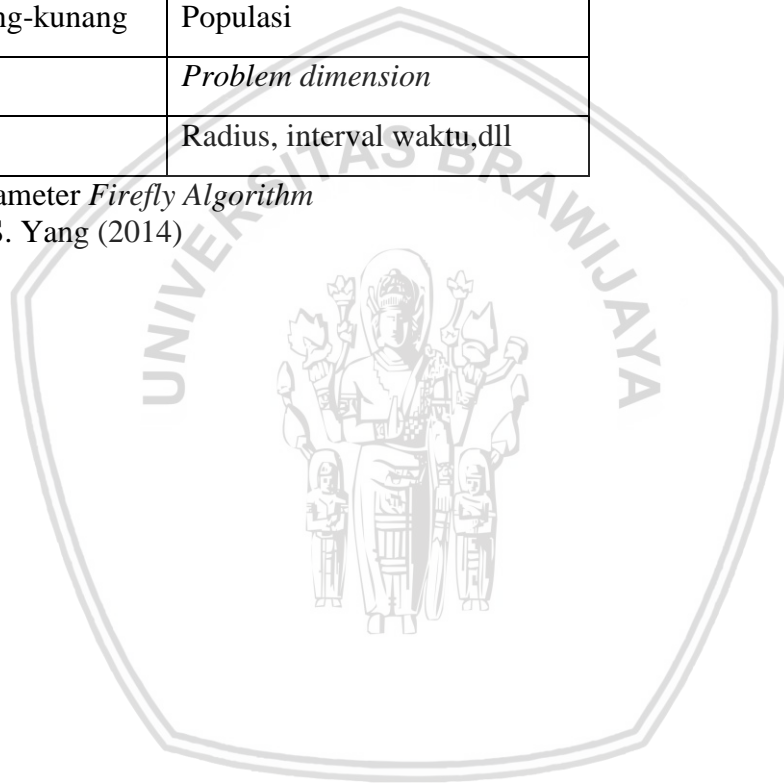
Parameter-parameter yang digunakan didalam *firefly Algorithm* diberikan pada tabel 2.1. Dalam *Firefly Algorithm*, parameter α (α) merupakan kontrol eksplorasi dan parameter γ (γ) merupakan kontrol eksploitasi. Parameter ini menggambarkan variasi fungsi keaktraktifan dan nilai untuk kecepatan konvergensi *firefly algorithm*. Untuk sebagian besar kasus, parameter acak (α) bernilai kisaran antara $[0, 10]$ dan parameter keaktraktifan (β) sama dengan 1. Koefisien γ (γ) bervariasi antara $[0,1-1,0]$. Nilai parameter dari algoritma yaitu fungsi keaktraktifan kunang-kunang, pengacakan dan koefisien absorpsi diatur sedemikian rupa bahwa adanya keseimbangan antara eksplorasi dan eksploitasi yang perlu dipertahankan dan solusi optimal yang diinginkan dapat diperoleh. Semakin banyak jumlah iterasi dan lebih banyak jumlah populasi sebenarnya memberikan hasil yang lebih baik dalam optimasi (Panigrahi et al., 2015, p.376).

Pada tabel di bawah ini menunjukkan parameter yang digunakan dalam metode *Firefly Algorithm*.

Parameter	Notasi di dalam algoritma
Tingkat kecerahan	<i>Objective Function</i>
<i>Beta</i> (β)	<i>Attractiveness parameter</i>
<i>Alpha</i> (α)	Paramater acak
<i>Gamma</i> (γ)	<i>Absorption coefficient</i>
<i>Number of Generation</i>	Iterasi
Jumlah kunang-kunang	Populasi
<i>Dimension</i>	<i>Problem dimension</i>
<i>r</i>	Radius, interval waktu,dll

Tabel 2.1. Parameter *Firefly Algorithm*

Sumber: Xin S. Yang (2014)





Halaman ini sengaja dikosongkan



BAB III

METODE PENELITIAN

3.1 Studi Literatur

Studi literatur yang digunakan mengacu pada teori pendukung tentang penerapan operasi ekonomis pada pusat pembangkit termal, dan bahasa pemrograman yang digunakan untuk melakukan analisis dengan metode ini. Studi literatur ini menggunakan acuan yang berasal dari (jurnal, buku, dan internet).

3.2 Pembuatan dan Pengujian Program Perhitungan

Langkah-langkah yang dilakukan dalam pembuatan program ini adalah :

- Pembuatan *flowchart* penerapan *economic dispatch* dengan metode *Firefly Algorithm*.
- Pembuatan program perhitungan *economic dispatch* dengan menggunakan Bahasa Pemrograman *Matlab*.
- Membandingkan data yang telah diselesaikan dengan data awal untuk memperoleh perbedaan keadaan sebelum optimasi dan sesudah optimasi

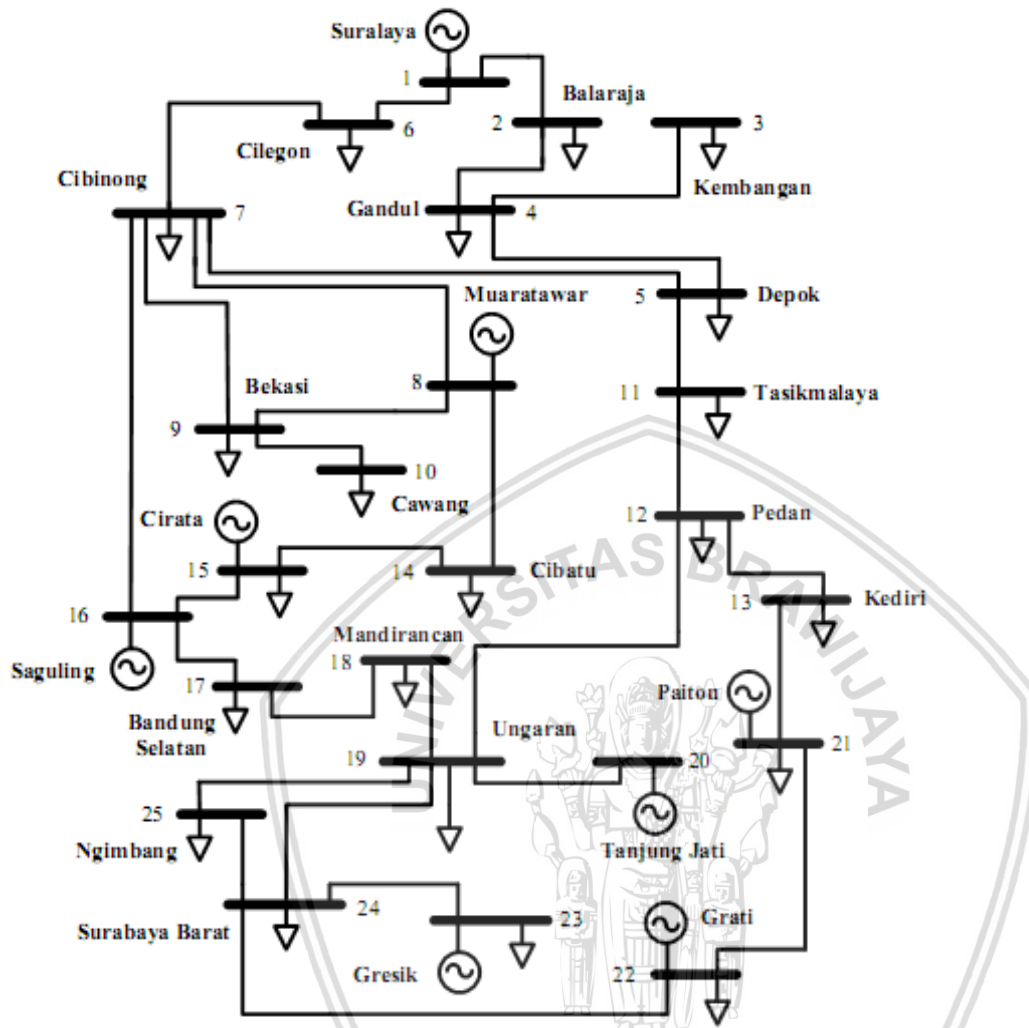
3.3 Data Penelitian

Data yang diperlukan untuk melakukan analisis penerapan *economic dispatch* antara lain:

- Data pembangkit termal sistem 500 kV Jawa-Bali yang akan dilakukan penjadwalan.
- Data batas Daya Aktif dan Daya Reaktif sistem 500 kV Jawa-Bali
- Data fungsi biaya pembangkit sistem 500 kV Jawa-Bali
- Data Biaya dan Parameter Unit Termal sistem 500 kV Jawa-Bali
- Data beban unit termal sistem 500 kV Jawa-Bali
- Data kombinasi penjadwalan unit termal sistem 500 kV Jawa-Bali

Data yang digunakan merupakan data sekunder yang diperoleh dari penelitian sebelumnya yakni *Unit Commitment* Pembangkit Termal Menggunakan *Hybrid Metode Evolutionary Programming* dan *Lagrange Relaxation* Pada Sistem 500 kV Jawa Bali.

Hubungan antar bus ditunjukkan pada Gambar 3.1.



Gambar 3.1 Single Line Diagram Sistem Transmisi 500 kV Jawa Bali
 Sumber: Abri (2016)

3.4 Implementasi Metode *Firefly Algorithm* Dalam *Economic Dispatch*

Hasil economic dispatch akan didapat menggunakan metode *Firefly Algorithm (FA)*, yang kemudian akan dibandingkan dengan kondisi sebelum dioptimasi dengan metode *Firefly Algorithm*. Daya yang dibangkitkan tentunya memperhatikan batas-batas *equality* dan *inequality*. Dari hasil pembangkitan, akan dimasukkan ke dalam fungsi obyektif berupa biaya.

3.5 Algoritma Metode *Firefly Algorithm*

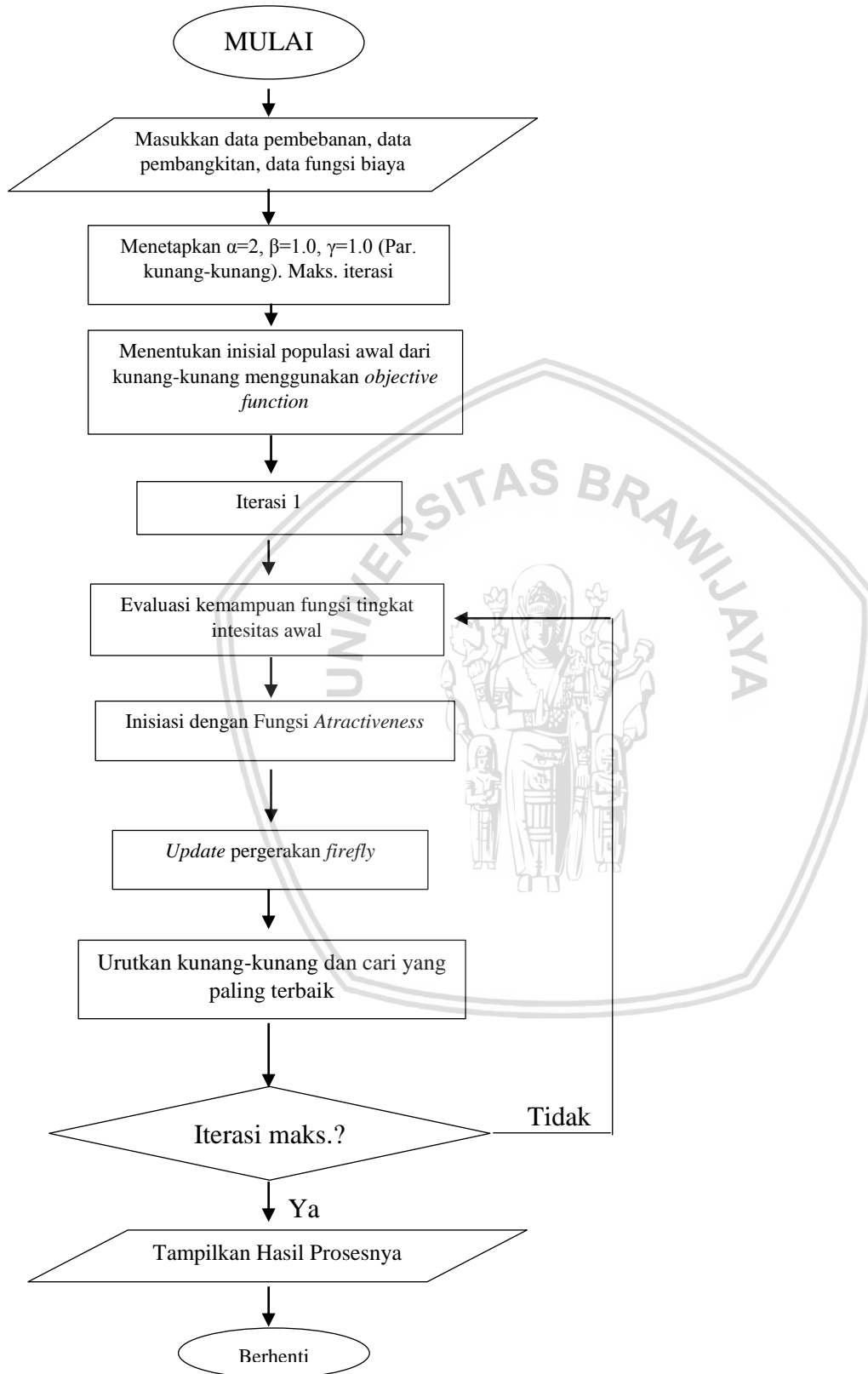
Berikut langkah-langkah algoritma dari metode *Firefly* dalam menyelesaikan masalah *Economic Dispatch* sebagai berikut (Subramanian & Thanushkodi, 2013, p.52-55):

1. Membaca sistem data seperti koefisien persamaan biaya, batas daya minimum dan maksimum dari semua unit pembangkit, total dari P_{demand} .
2. Menginisialisasi parameter dan syarat dari algoritma *Firefly*. Dalam hal ini melingkupi α , γ , β_0 , jumlah dimensi, jumlah kunang-kunang dan itermaks (jumlah maksimum pada iterasi).
3. Membangkitkan secara random populasi awal sebanyak m *fireflies* (berarti banyak kunang-kunang dan jumlah dimensi sebanyak pembangkit yang ada).
4. Hitung intensitas cahaya awal tiap *fireflies* yaitu I_x berdasarkan nilai fungsi tujuan yaitu f_x .
5. Intensitas cahaya tiap *firefly* dibandingkan dengan *firefly* lainnya. Apabila terdapat *firefly* j yang intensitas cahayanya lebih besar dari *firefly* i , lakukan *update* pergerakan *firefly* menggunakan persamaan *movement* yaitu : $x_i^{new} = x_i + \beta_0 e^{-\gamma_{ij}^2} (x_j - x_i) + \alpha (rand - 1/2)$ Dimana $rand$ adalah bilangan *random* berdistribusi *uniform* pada interval $[0,1]$ dan

$$rij = ||xi - xj|| = \sqrt{\sum_{k=1}^d (x_{i,k} - x_{j,k})^2}$$

6. *G-best* adalah solusi terbaik yang pernah didapatkan. Untuk iterasi pertama, *firefly* terbaik (*firefly* dengan intensitas terbesar) adalah *G-best*.
7. Tentukan nilai *alpha* (α) dengan iterasi yang mengikuti persamaan berikut:
 $\alpha(iter) = \alpha_{maks} - ((\alpha_{maks} - \alpha_{min}) \cdot (jumlah\ iterasi\ saat\ ini) / itermaks)$
8. Melakukan proses *movement* kepada *firefly* terbaik dengan memasukkan nilai yang didapat dan menggabungkannya dengan *firefly* yang lain untuk menjadi populasi awal pada iterasi selanjutnya.
9. Jumlah iterasi selalu bertambah dan jika batas iterasi dipenuhi maka akan berhenti, sedangkan jika tidak terpenuhi maka kembali ke langkah 3.
10. *G-best* akan memberikan solusi yang optimal pada masalah *economic dispatch*

Berikut flowchart optimasi ED menggunakan metode *Firefly Algorithm*:



Gambar 3.2 Flowchart optimasi Economic Dispatch dengan Metode *Firefly Algorithm*

BAB IV

HASIL DAN PEMBAHASAN

Pada penulisan skripsi ini dilakukan simulasi perhitungan *economic dispatch* untuk mendapatkan total biaya pembangkitan termurah yang memenuhi batas *equality* dan *inequality*. Untuk memperoleh biaya pembangkitan termurah dilakukan perhitungan *economic dispatch* dengan menggunakan metode *Firefly Algorithm*. Simulasi dilakukan dengan menggunakan 2 data yaitu :

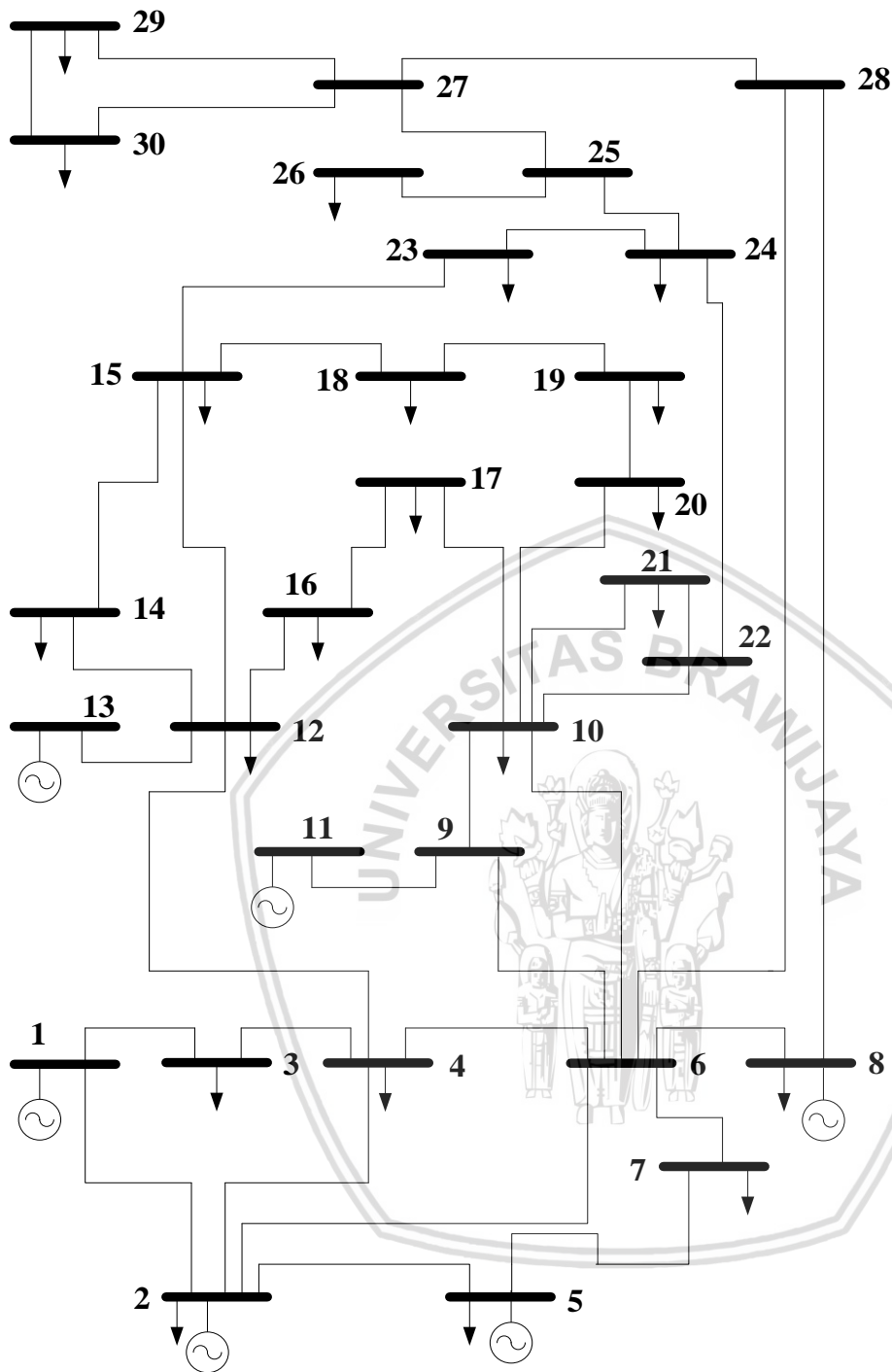
- Data validasi *IEEE 30 Bus* dengan mengasumsikan beban sistem sebesar 283,4 MW.
- Data Pembangkit Termal sistem 500 kV Jawa-Bali yang dimiliki oleh PT. PJB

Pada data validasi terdiri dari 30 *BUS*, 6 pembangkit dengan total beban sistem $P_R = 283,4$ MW. Untuk data riil yang akan digunakan adalah data Pembangkit Termal sistem 500 kV Jawa-Bali yang bersumber dari PT. PLN (Persero). Dari hasil simulasi kedua data tersebut dianalisis dan dapat diketahui performansi yang diinginkan untuk mendapatkan suatu penjadwalan pembangkit termal sehingga memperoleh biaya pembangkitan termurah yang dapat memenuhi batasan *equality* dan *inequality*.

4.1 Data Validasi *IEEE 30 Bus*

Data yang digunakan untuk simulasi penelitian ini adalah data *IEEE 30 Bus* dimana pada sistem tersebut terdapat 30 *Bus* terdiri dari 6 unit pembangkit yang terletak pada *Bus 1*, *Bus 2*, *Bus 5*, *Bus 8*, *Bus 11* dan *Bus 13*, dimana *Bus 1* dijadikan sebagai *slack Bus*. *Slack Bus* adalah *bus* yang berfungsi untuk menyuplai kekurangan daya *real P* dan daya reaktif *Q* pada sistem. Biasanya *bus* ini adalah pembangkit dengan daya terbesar. Karena *Bus 1* memiliki daya terbesar maka dijadikan sebagai *slack bus*.

Single-line diagram data *IEEE 30* dapat dilihat seperti gambar 4.1.



Gambar 4.1 Single line diagram IEEE 30 Bus
 Sumber: Alsac & Stott (1974,p.750)

Adapun data-data yang digunakan pada simulasi kali ini dapat dilihat pada table 4.1 yaitu data pembebanan IEEE 30 Bus.

Tabel 4.1 Data Pembebanan Sistem Standar *IEEE 30 Bus*

No <i>Bus</i>	Kode <i>Bus</i>	Tegangan		Beban		Generator	
		<i>Magnitude</i>	Sudut	P (MW)	Q (MVar)	P (MW)	Q (MVar)
1	1	1,06	0	0	0	50	0
2	2	1,05	0	21,7	12,7	40	0
3	0	1,00	0	2,4	1,2	0	0
4	0	1,06	0	7,6	1,6	0	0
5	2	1,01	0	94,2	19,0	30	0
6	0	1,00	0	0	0	0	0
7	0	1,00	0	22,8	10,9	0	0
8	2	1,01	0	30,0	30,0	20	0
9	0	1,00	0	0	0	0	0
10	0	1,08	0	5,8	2,0	0	0
11	2	1,00	0	0	0	10	0
12	0	1,07	0	11,2	7,5	0	0
13	2	1,00	0	0	0	12	0
14	0	1,00	0	6,2	1,6	0	0
15	0	1,00	0	8,2	2,5	0	0
16	0	1,00	0	3,5	1,8	0	0
17	0	1,00	0	9,0	5,8	0	0
18	0	1,00	0	3,2	0,9	0	0
19	0	1,00	0	9,5	3,4	0	0
20	0	1,00	0	2,2	0,7	0	0
21	0	1,00	0	17,5	11,2	0	0
22	0	1,00	0	0	0	0	0
23	0	1,00	0	3,2	1,6	0	0
24	0	1,00	0	8,7	6,7	0	0
25	0	1,00	0	0	0	0	0
26	0	1,00	0	3,5	2,3	0	0
27	0	1,00	0	0	0	0	0
28	0	1,00	0	0	0	0	0
29	0	1,00	0	2,4	0,9	0	0
30	0	1,00	0	10,6	1,9	0	0

Sumber: Alsac & Stott (1974, p.750)

Keterangan kode *Bus* : 1 (*slack Bus*) ; 2 (*Bus generator*) ; 0 (*Bus beban*)

Data saluran antar *Bus* pada sistem *IEEE 30 Bus* dengan beban sistem sebesar 283,4 MW dapat dilihat pada tabel 4.1. Data impedansi saluran ditunjukkan dalam bentuk per unit (pu) dengan basenya 100 MVA (Alsac & Stott, 1974, p.750).

Pada tabel berikutnya adalah batas minimum dan maksimum daya masing-masing pembangkit dalam data *IEEE 30 Bus*.

Tabel 4.2 Data pembangkitan sistem *IEEE 30 Bus*

Pembangkit	P_{\max} (MW)	P_{\min} (MW)
Pembangkit 1	200	50
Pembangkit 2	80	20
Pembangkit 3	50	15
Pembangkit 4	35	10
Pembangkit 5	30	10
Pembangkit 6	40	12
Total	435	117

Sumber: Alsac & Stott (1974, p.751)

Persamaan fungsi biaya bahan bakar (*fuel cost*) masing-masing unit pembangkit yang dioperasikan adalah seperti pada tabel 4.3 berikut.

Tabel 4.3 Data fungsi biaya bahan bakar sistem *IEEE 30 Bus*

Pembangkit	Fungsi Biaya (\$/h)
Pembangkit 1	$2.0 P_1 + 0.00375 P_1^2$
Pembangkit 2	$0.0175 P_2 + 1.75 P_2^2$
Pembangkit 3	$1.0 P_3 + 0.0625 P_3^2$
Pembangkit 4	$3.25 P_4 + 0.00834 P_4^2$
Pembangkit 5	$3.0 P_5 + 0.025 P_5^2$
Pembangkit 6	$3.0 P_6 + 0.025 P_6^2$

Sumber: Alsac & Stott (1974, p.751)

4.2 Simulasi Metode *Firefly Algorithm* Data *IEEE 30 Bus*

1. Menentukan data awal pembangkitan, impedansi saluran dan fungsi biaya

$$F(P) = aP^2 + bP + c$$

Fungsi biaya pembangkit data *IEEE 30 Bus* :

$$F_1 = 2.0 P_1 + 0.00375 P_1^2$$

$$F_2 = 0.0175 P_2 + 1.75 P_2^2$$

$$F_3 = 1.0 P_3 + 0.0625 P_3^2$$

$$F_4 = 3.25 P_4 + 0.00834 P_4^2$$

$$F_5 = 3.0 P_5 + 0.025 P_5^2$$

$$F_6 = 3.0 P_6 + 0.025 P_6^2$$

$$\text{Total Biaya Pembangkitan : } F_T = F_1 + F_2 + F_3 + F_4 + F_5 + F_6$$

2. Inisialisasi parameter algoritma *Firefly Algorithm*:
 - a. Jumlah partikel dibuat sama dengan 6
 - b. Maksimum iterasi 50

3. Menentukan posisi awal partikel (X_i) dipilih berdasarkan batasan daya pembangkitan (P_{max} dan P_{min}) yang diacak secara *random*. Posisi partikel pada metode penelitian ini merupakan nilai daya pada masing-masing pembangkit yang akan kita cari. Persamaan untuk menentukan nilai posisi awal partikel adalah $(P_{max} - P_{min}) \times \text{nilai random} + P_{min}$. Posisi awal partikel harus memenuhi *inequality constraint* atau batasan daya maksimum dan minimum pembangkit. Salah satu posisi awal partikel digunakan sebagai *slack bus* untuk memenuhi *equality constraint* atau daya di sisi beban sama dengan penjumlahan daya pembangkit.

Misalkan nilai *random* = 0,22 untuk partikel X_1 :

$$P_2 = (80 - 20) \times 0,22 + 20 = 33.2 \text{ MW}$$

$$P_3 = (50 - 15) \times 0,22 + 15 = 22.7 \text{ MW}$$

$$P_4 = (35 - 10) \times 0,22 + 10 = 15.5 \text{ MW}$$

$$P_5 = (30 - 10) \times 0,22 + 10 = 14.4 \text{ MW}$$

$$P_6 = (40 - 12) \times 0,22 + 12 = 18.16 \text{ MW}$$

Daya pada beban = 283,4 MW, agar memenuhi *equality constraint* maka untuk mencari daya pembangkit 1 adalah

$$P_1 = P_R - P_2 - P_3 - P_4 - P_5 - P_6 = 179.44 \text{ MW}$$

Misalkan nilai *random* = 0,26 untuk partikel X_2 :

$$P_2 = (80 - 20) \times 0,26 + 20 = 35.6 \text{ MW}$$

$$P_3 = (50 - 15) \times 0,26 + 15 = 24.1 \text{ MW}$$

$$P_4 = (35 - 10) \times 0,26 + 10 = 16.5 \text{ MW}$$

$$P_5 = (30 - 10) \times 0,26 + 10 = 15.2 \text{ MW}$$

$$P_6 = (40 - 12) \times 0,26 + 12 = 19.28 \text{ MW}$$

Daya pada beban = 283,4 MW, agar memenuhi *equality constraint* maka untuk mencari daya pembangkit 1 adalah

$$P_1 = P_R - P_2 - P_3 - P_4 - P_5 - P_6 = 172.72 \text{ MW}$$

Misalkan nilai *random* = 0,3 untuk partikel X_3 :

$$P_2 = (80 - 20) \times 0.3 + 20 = 38 \text{ MW}$$

$$P_3 = (50 - 15) \times 0.3 + 15 = 25,5 \text{ MW}$$

$$P_4 = (35 - 10) \times 0.3 + 10 = 17,5 \text{ MW}$$

$$P_5 = (30 - 10) \times 0.3 + 10 = 16 \text{ MW}$$

$$P_6 = (40 - 12) \times 0.3 + 12 = 20,4 \text{ MW}$$

Daya pada beban = 283,4 MW, agar memenuhi *equality constraint* maka untuk mencari daya pembangkit 1 adalah

$$P_1 = P_R - P_2 - P_3 - P_4 - P_5 - P_6 = 166 \text{ MW}$$

Nilai *random* 0,34 untuk partikel X_4 :

$$P_2 = (80 - 20) \times 0,34 + 20 = 40.4 \text{ MW}$$

$$P_3 = (50 - 15) \times 0,34 + 15 = 26.9 \text{ MW}$$

$$P_4 = (35 - 10) \times 0,34 + 10 = 18.5 \text{ MW}$$

$$P_5 = (30 - 10) \times 0,34 + 10 = 16.8 \text{ MW}$$

$$P_6 = (40 - 12) \times 0,34 + 12 = 21.52 \text{ MW}$$

Daya pada beban = 283,4 MW, agar memenuhi *equality constraint* maka untuk mencari daya pembangkit 1 adalah

$$P_1 = P_R - P_2 - P_3 - P_4 - P_5 - P_6 = 159.28 \text{ MW}$$

Nilai *random* 0,38 untuk partikel X_5

$$P_2 = (80 - 20) \times 0,38 + 20 = 42.8 \text{ MW}$$

$$P_3 = (50 - 15) \times 0,38 + 15 = 28.3 \text{ MW}$$

$$P_4 = (35 - 10) \times 0,38 + 10 = 19.5 \text{ MW}$$

$$P_5 = (30 - 10) \times 0,38 + 10 = 17.6 \text{ MW}$$

$$P_6 = (40 - 12) \times 0,38 + 12 = 22.64 \text{ MW}$$

Daya pada beban = 283,4 MW, agar memenuhi *equality constraint* maka untuk mencari daya pembangkit 1 adalah

$$P_1 = P_R - P_2 - P_3 - P_4 - P_5 - P_6 = 152.56 \text{ MW}$$

Nilai *random* 0,42 untuk partikel X_6

$$P_2 = (80 - 20) \times 0,42 + 20 = 45.2 \text{ MW}$$

$$P_3 = (50 - 15) \times 0,42 + 15 = 29.7 \text{ MW}$$

$$P_4 = (35 - 10) \times 0,42 + 10 = 20.5 \text{ MW}$$

$$P_5 = (30 - 10) \times 0,42 + 10 = 18.4 \text{ MW}$$

$$P_6 = (40 - 12) \times 0,42 + 12 = 23.76 \text{ MW}$$

Daya pada beban = 283,4 MW, agar memenuhi *equality constraint* maka untuk mencari daya pembangkit 1 adalah

$$P_1 = P_R - P_2 - P_3 - P_4 - P_5 - P_6 = 145.84 \text{ MW}$$

4. Evaluasi biaya untuk setiap partikel

Evaluasi biaya untuk partikel X_1 ;

$$F_{11} = 0,00375 (179.44)^2 + 2 (179.44)$$

$$F_{12} = 0,0175 (33.2)^2 + 1,75 (33.2)$$

$$F_{13} = 0,0625 (22.7)^2 + 1 (22.7) \quad 52.25$$

$$F_{14} = 0,00834 (15.5)^2 + 3.25 (15.5) \quad 50.6265$$

$$F_{15} = 0,025 (14.4)^2 + 3 (14.4) \quad 46.9 \quad 49$$

$$F_{16} = 0,025 (18.16)^2 + 3 (18.16) \quad 60.544$$

$$F_{T1} = F_{11} + F_{12} + F_{13} + F_{14} + F_{15} + F_{16} = 775.4073 \text{ \$/h}$$

Evaluasi biaya untuk partikel X_2 ;

$$F_{11} = 0,00375 (172.72)^2 + 2 (172.72)$$

$$F_{12} = 0,00175 (35.6)^2 + 1,75 (35.6)$$

$$F_{13} = 0,0625 (24.1)^2 + 1 (24.1)$$

$$F_{14} = 0,00834 (16.5)^2 + 3.25 (16.5)$$

$$F_{15} = 0,025 (15.2)^2 + 3 (15.2)$$

$$F_{16} = 0,025 (19.28)^2 + 3 (19.28)$$

$$F_{T1} = F_{11} + F_{12} + F_{13} + F_{14} + F_{15} + F_{16} = 776.5947 \text{ US\$/h}$$

Evaluasi biaya untuk partikel X_3 ;

$$F_{21} = 0,00375 (166)^2 + 2 (166)$$

$$F_{22} = 0,00175 (38)^2 + 1,75 (38)$$

$$F_{23} = 0,0625 (25,5)^2 + 1 (25,5)$$

$$F_{24} = 0,00834 (17,5)^2 + 3.25 (17,5)$$

$$F_{25} = 0,025 (16)^2 + 3 (16)$$

$$F_{26} = 0,025 (20,4)^2 + 3 (20,4)$$

$$F_{T2} = F_{21} + F_{22} + F_{23} + F_{24} + F_{25} + F_{26} = 778.6787 \text{ US\$/h}$$

Evaluasi biaya untuk partikel X_4 ;

$$F_{31} = 0,00375 (159.28)^2 + 2 (159.28)$$

$$F_{32} = 0,00175 (40.4)^2 + 1,75 (40.4)$$

$$F_{33} = 0,0625 (26.9)^2 + 1 (26.9)$$

$$F_{34} = 0,00834 (18.5)^2 + 3.25 (18.5)$$

$$F_{35} = 0,025 (16.8)^2 + 3 (16.8)$$

$$F_{36} = 0,025 (21.52)^2 + 3 (21.52)$$

$$F_{T3} = F_{31} + F_{32} + F_{33} + F_{34} + F_{35} + F_{36} = 781.6595 \text{ US\$/h}$$

Evaluasi biaya untuk partikel X_5 ;

$$F_{41} = 0,00375 (152.56)^2 + 2 (152.56)$$

$$F_{42} = 0,00175 (42.8)^2 + 1,75 (42.8)$$

$$F_{43} = 0,0625 (28.3)^2 + 1 (28.3)$$

$$F_{44} = 0,00834 (19.5)^2 + 3.25 (19.5)$$

$$F_{45} = 0,025 (17.6)^2 + 3 (17.6)$$

$$F_{46} = 0,025 (22.64)^2 + 3 (22.64)$$

$$F_{T4} = F_{41} + F_{42} + F_{43} + F_{44} + F_{45} + F_{46} = 785.5369 \text{ US\$/h}$$

Evaluasi biaya untuk partikel X_6 ;

$$F_{51} = 0,00375 (145.84)^2 + 2 (145.84)$$

$$F_{52} = 0,00175 (45.2)^2 + 1,75 (45.2)$$

$$F_{53} = 0,0625 (29.7)^2 + 1 (29.7)$$

$$F_{54} = 0,00834 (20.5)^2 + 3.25 (20.5)$$

$$F_{55} = 0,025 (18.4)^2 + 3 (18.4)$$

$$F_{56} = 0,025 (23.76)^2 + 3 (23.76)$$

$$F_{T5} = F_{51} + F_{52} + F_{53} + F_{54} + F_{55} + F_{56} = 790.3110 \text{ US\$/h}$$

5. Nilai G_{best} adalah nilai daya dengan total biaya terkecil pada evaluasi biaya. Nilai biaya yang diperoleh untuk setiap partikel adalah 775.4073 US\$/h, 776.5947 US\$/h, 778.6787 US\$/h, 781.6595 US\$/h, 785.5369 US\$/h, 790.3110 US\$/h. Nilai biaya terkecil berada pada partikel 1 yaitu 775.4073 US\$/h, maka nilai G_{best} adalah nilai daya dari partikel pertama.

6. Pada penelitian ini ditentukan nilai $\alpha = 2$, $\beta_0 = 1$, $\gamma = 1$ (Xin S. Yang, 2009).

7. Evaluasi ke rumus *Firefly Algorithm* pada Persamaan (2-13)

$$r_{ij} \sqrt{\sum_{k=1}^d (P_{i,k} - P_{j,k})^2}$$

- Untuk partikel X_1

Partikel pertama merupakan *Gbest* sehingga daya pembangkitnya tidak berubah, *Gbest* disetiap iterasi tidak mengalami perubahan daya pembangkit.

- Untuk partikel X_2

$$\begin{aligned} r_{21} &= \sqrt{\sum_{k=1}^6 (P_{2,k} - P_{1,k})^2} \\ &= \sqrt{(172,72 - 179,44)^2 + \dots + (19,28 - 18,16)^2} \\ &= 7,4681 \end{aligned}$$

8. Dengan menggunakan rumus *Acctractiveness* pada Persamaan (2-12), didapatkan nilai β sebagai berikut:

$$\begin{aligned} \beta &= \beta_0 \exp(-\gamma r^2) \\ &= 1 \times \exp(-1 \times 7,4681^2) \\ &= 6,00041 \times 10^{-25} \end{aligned}$$

Dengan menggunakan rumus pada Persamaan (2-15), diperoleh nilai daya (P) pada iterasi $i = 1$ sebagai berikut:

$$\begin{aligned} P_{2,2} &= P_{2,2} + \beta(P_{1,2} - P_{2,2}) + \alpha \left(rand - \frac{1}{2} \right), \text{ misalkan } rand = 0,2 \\ &= 35,6 + 6,00041 \times 10^{-25} (33,2 - 35,6) + 2 \left(0,2 - \frac{1}{2} \right) \\ &= 35 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} P_{2,3} &= P_{2,3} + \beta(P_{1,3} - P_{2,3}) + \alpha \left(rand - \frac{1}{2} \right), \text{ misalkan } rand = 0,2 \\ &= 24,1 + 6,00041 \times 10^{-25} (22,7 - 24,1) + 2 \left(0,2 - \frac{1}{2} \right) \\ &= 23,5 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} P_{2,4} &= P_{2,4} + \beta(P_{1,4} - P_{2,4}) + \alpha \left(rand - \frac{1}{2} \right), \text{ misalkan } rand = 0,2 \\ &= 16,5 + 6,00041 \times 10^{-25} (15,5 - 16,5) + 2 \left(0,2 - \frac{1}{2} \right) \\ &= 15,9 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 P_{2,5} &= P_{2,5} + \beta(P_{1,5} - P_{2,5}) + \alpha \left(rand - \frac{1}{2} \right), \text{ misalkan } rand = 0,2 \\
 &= 15,2 + 6,00041 \times 10^{-25} (14,4 - 15,2) + 2 \left(0,2 - \frac{1}{2} \right) \\
 &= 14,6
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 P_{2,6} &= P_{2,6} + \beta(P_{1,6} - P_{2,6}) + \alpha \left(rand - \frac{1}{2} \right), \text{ misalkan } rand = 0,2 \\
 &= 19,28 + 6,00041 \times 10^{-25} (18,16 - 19,28) + 2 \left(0,2 - \frac{1}{2} \right) \\
 &= 18,68
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 P_{2,1} &= \text{Beban} - (P_{2,2} + P_{2,3} + P_{2,4} + P_{2,5} + P_{2,6}) \\
 &= 283,4 - (35 + 23,5 + 15,9 + 14,6 + 18,68) \\
 &= 175,72
 \end{aligned}$$

Selanjutnya akan dicari biaya dengan menggunakan Persamaan (2.4) sebagai berikut:

- Untuk Partikel X_1

$$F_{11} = 0,00375 (179,44)^2 + 2 (179,44)$$

$$F_{12} = 0,0175 (33,2)^2 + 1,75 (33,2)$$

$$F_{13} = 0,0625 (22,7)^2 + 1 (22,7) 52,25$$

$$F_{14} = 0,00834 (15,5)^2 + 3,25 (15,5) 50,6265$$

$$F_{15} = 0,025 (14,4)^2 + 3 (14,4) 46,9 49$$

$$F_{16} = 0,025 (18,16)^2 + 3 (18,16) 60,544$$

$$F_{T1} = F_{11} + F_{12} + F_{13} + F_{14} + F_{15} + F_{16} = 775,4073 \text{ \$/h}$$

- Untuk Partikel X_2

$$F_{21} = 0,00375 (175,72)^2 + 2 (175,72)$$

$$F_{22} = 0,00175 (35)^2 + 1,75 (35)$$

$$F_{23} = 0,0625 (23,5)^2 + 1 (23,5)$$

$$F_{24} = 0,00834 (15,9)^2 + 3,25 (15,9)$$

$$F_{25} = 0,025 (14,6)^2 + 3 (14,6)$$

$$F_{26} = 0,025 (18,68)^2 + 3 (18,68)$$

$$F_{T2} = F_{21} + F_{22} + F_{23} + F_{24} + F_{25} + F_{26} = 775,6098 \text{ US\$/h}$$

9. Untuk iterasi selanjutnya menggunakan Persamaan yang sama tetapi menggunakan nilai daya (P) pada iterasi sebelumnya.
10. Cek apakah solusi sudah konvergen, jika belum konvergen ulangi langkah 6 sampai 7 hal ini dilakukan sampai konvergen.
11. Setelah konvergen didapatkan biaya total optimun

Tabel 4.4 Pembagian Daya Pembangkit *IEEE 30 Bus* dengan beban 283,4 MW

<i>Firefly</i>	Daya Pembangkit						Total Daya	Total Biaya (U\$/jam)
	P1	P2	P3	P4	P5	P6		
1	189,62	31,16	20,66	13,46	12,36	16,12	283,4	773,983
2	195,50	29,99	19,49	12,29	11,19	14,95	283,4	774,001
3	194,69	30,15	19,65	12,45	11,35	15,11	283,4	773,978
4	191,90	30,71	20,21	13,01	11,91	15,67	283,4	773,965
5	187,54	31,58	21,08	13,88	12,78	16,54	283,4	774,139
6	185,90	31,91	21,41	14,21	13,11	16,87	283,4	774,494

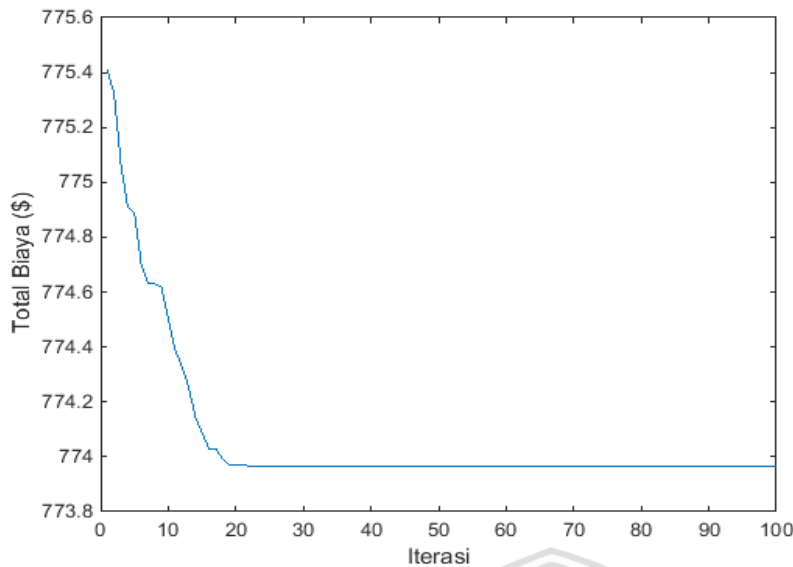
Sumber: Hasil Perhitungan

Tabel 4.5 Hasil simulasi dengan metode lain (283,4 MW Beban)

Metode Optimasi	P1 (MW)	P2 (MW)	P3 (MW)	P4 (MW)	P5 (MW)	P6 (MW)	Total Cost (Fuel Cost) US\$/h
<i>WOA</i>	174,43	47,82	21,45	25,69	10,12	12,15	800,28
<i>PSO</i>	176,94	48,71	21,27	21,09	11,83	12,00	798,43
<i>GA</i>	179,36	44,24	24,61	19,9	10,71	14,09	803,69
<i>ACO</i>	177,86	43,83	20,89	23,12	14,02	13,11	803,12
<i>FA</i>	191,91	30,70	20,20	13	11,90	15,66	773,96

Sumber: Hasil Perhitungan

Dari Tabel 4.4 dapat dilihat pembagian daya pembangkit *IEEE 30 Bus* dengan beban 283,4 MW, dimana pada *firefly* terbaik adalah *firefly* pertama dengan total biaya U\$ 773,93. Dan dari Tabel 4.5 dapat dilihat hasil simulasi dengan metode lain bahwa metode *Firefly Algorithm* menghasilkan total biaya paling rendah dibandingkan dengan metode lain.



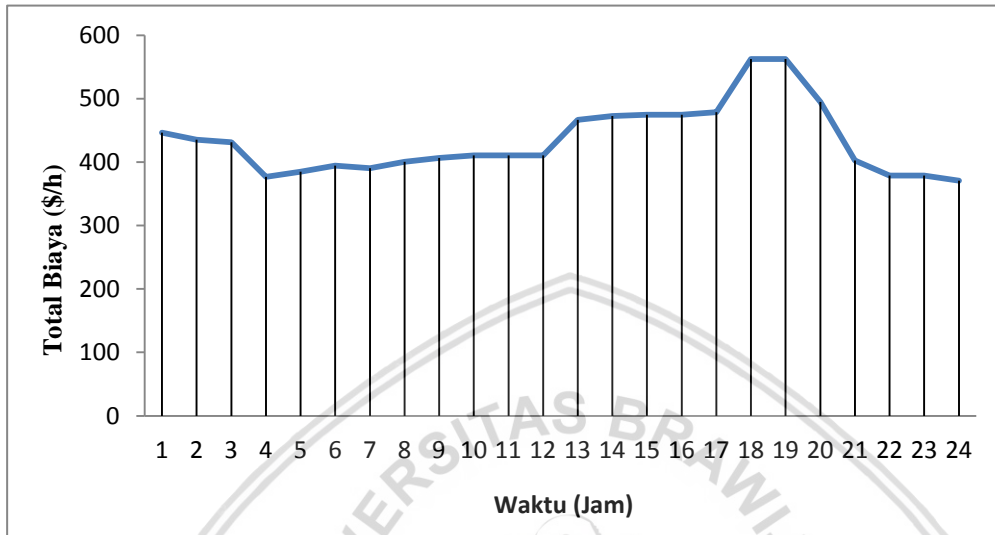
Gambar 4.2 Grafik iterasi daya pembangkit menggunakan sistem *IEEE 30 Bus*

Pada gambar di atas menunjukkan kurva hasil simulasi biaya penjadwalan pembangkit data sistem *IEEE 30 Bus* dengan daya pembangkit beban sebesar 283,4 MW. Melalui perhitungan menggunakan metode *Firefly Algoritim* didapatkan titik konvergen pada iterasi ke-26 dengan total biaya sebesar \$773.9653.

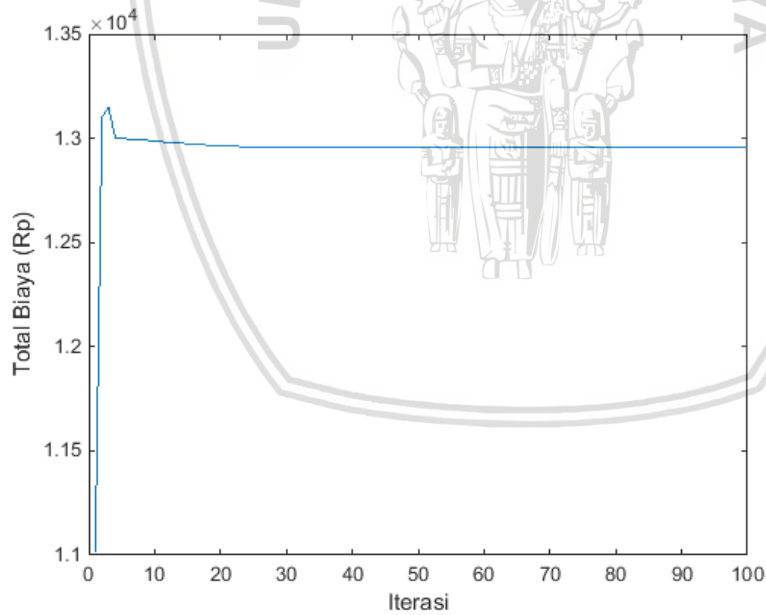
Tabel 4.6. Penjadwalan *IEEE 30 Bus* selama 24 jam menggunakan Metode *FA*

Jam	Beban (MW)	P1	P2	P3	P4	P5	P6	Biaya (\$/h)
1	241	163.97	27.47	0	10	0	0	446.43
2	240	136.04	33.2	0	15.5	0	0	435.08
3	238	134.04	33.2	0	15.5	0	0	431.08
4	238	134.04	33.2	0	15.5	0	0	376.58
5	242	138.04	33.2	0	15.5	0	0	384.58
6	247	143.04	33.2	0	15.5	0	0	394.58
7	245	141.04	33.2	0	15.5	0	0	390.58
8	250	146.04	33.2	0	15.5	0	0	400.58
9	253	149.04	33.2	0	15.5	0	0	406.58
10	255	151.04	33.2	0	15.5	0	0	410.58
11	255	151.04	33.2	0	15.5	0	0	410.58
12	255	151.04	33.2	0	15.5	0	0	410.58
13	283	179.04	33.2	0	15.5	0	0	466.58
14	286	182.04	33.2	0	15.5	0	0	472.58
15	287	183.04	33.2	0	15.5	0	0	474.58
16	287	183.04	33.2	0	15.5	0	0	474.58
17	289	185.04	33.2	0	15.5	0	0	478.58
18	311	207.04	0	0	15.5	14.4	18.16	562.19
19	311	207.04	0	0	15.5	14.4	18.16	562.19
20	297	193.04	33.2	0	15.5	0	0	494.58

Jam	Beban (MW)	P1	P2	P3	P4	P5	P6	Biaya (\$/h)
21	251	147.04	33.2	0	15.5	0	0	402.58
22	239	135.04	33.2	0	15.5	0	0	378.58
23	239	135.04	33.2	0	15.5	0	0	378.58
24	235	131.04	33.2	0	15.5	0	0	370.58



Gambar 4.3 Grafik total biaya dengan data *IEEE 30 Bus* menggunakan Metode *FA*



Gambar 4.4 Grafik total biaya pembangkit selama 24 jam dengan iterasi sebanyak 100 kali

Pada tabel 4.6 dan Gambar 4.3 di atas didapatkan penjadwalan dan total biaya pembangkit selama 24 jam menggunakan metode *Firefly Algorithm (FA)* sistem *IEEE 30 Bus* diperoleh biaya pembangkitan (\$/h) dan biaya selalu berubah-ubah terhadap waktu (jam). Dan pada gambar 4.4 dapat dilihat grafik total biaya pembangkit selama 24 jam dan konvergen pada iterasi ke-26.

4.3 Sistem 500 kV Jawa Bali

Data yang digunakan dalam penelitian kali ini adalah data sistem 500 kV Jawa-Bali. Sistem kelistrikan 500 kV Jawa-Bali adalah sistem jaringan transmisi yang dihubungkan oleh saluran udara tegangan ekstra tinggi (SUTET). Region-region pada sistem dihubungkan oleh transmisi 500 kV adalah penyuplai daya ke sistem tenaga listrik Jawa-Bali. Daya berkapasitas besar disalurkan ke pembangkit-pembangkit utama dari region 1(satu) sampai dengan 4 (empat) melalui saluran transmisi 500 kV dan kemudian diturunkan menjadi 150 kV. Sistem kelistrikan 500 kV Jawa-Bali dibagi menjadi 4 region. Region 1 meliputi Jakarta Raya dan Banten, region 2 Jawa Barat, region 3 Jawa Tengah dan DIY sedangkan region 4 adalah Jawa timur dan Bali.

Tabel 4.7 Data Pembangkit dan Batas Daya Maksimum-Minimum Jawa-Bali 500 kV

Pembangkit	P_{\max} (MW)	P_{\min} (MW)
Suralaya	3400	1500
Muaratawar	2200	1040
Cirata	1008	400
Saguling	700	400
Tanjung Jati	1220	600
Gresik	1050	238
Paiton	3254	1425
Grati	827	150
Total	11679	5753

Sumber: Sunaryatiningsih (2016)

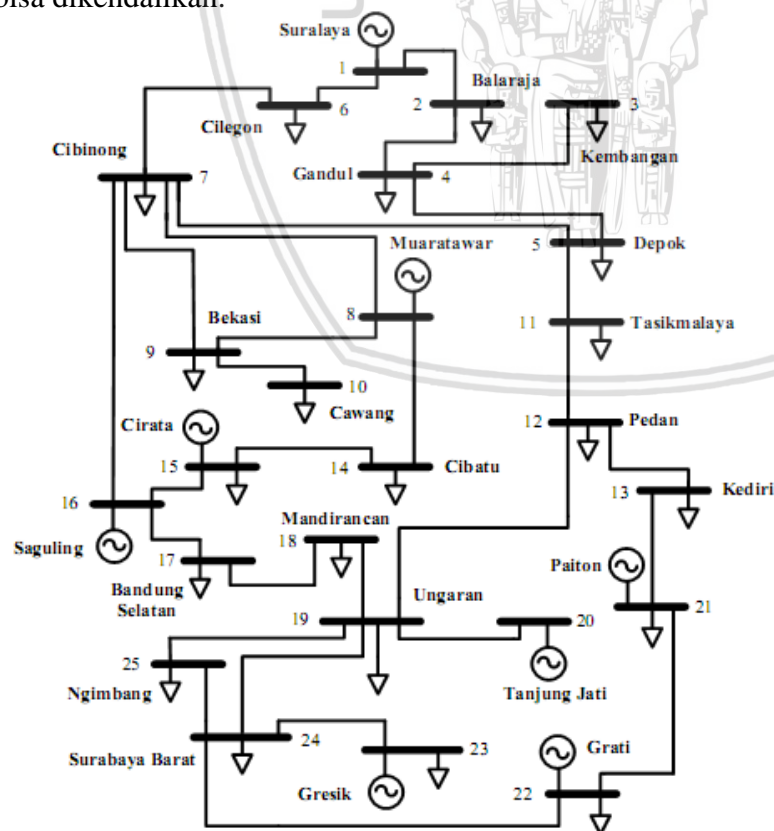
Data pembebanan sistem kelistrikan 500 kV Jawa-Bali yang digunakan adalah data pembebanan pada tanggal 4,6, dan 7 Desember 2011. Unit yang terpasang antara lain pembangkit Suralaya, pembangkit Muaratawar, pembangkit Cirata, pembangkit Saguling, pembangkit Tanjungjati, pembangkit Gresik, pembangkit Grati, dan pembangkit Paiton. Unit pembangkit Cirata dan Saguling merupakan pembangkit listrik tenaga ait, sisanya adalah pembangkit listrik tenaga uap. Gardu induk atau *bus-bus* yang ada pada sistem kelistrikan 500 kV Jawa-Bali diklasifikasikan sebagai berikut:

Tabel 4.8 Pembagian *Bus* Setiap Pembangkit

Jenis <i>Bus</i>	Nama <i>Bus</i>	Jumlah <i>Bus</i>
<i>Slack Bus</i>	Suralaya	1
<i>Bus</i> Beban	Cilegon, Kembangan, Gandul, Cibinong, Balaraja, Cawang, Bekasi, Cibatu, Bandung Selatan, Mandirancan, Ungaran, Surabaya Barat, Depok, Tasikmalaya, Pedan, dan Kediri	17
<i>Bus</i> Generator	Muaratawar, Cirata, Saguling, Tanjungjati, Gresik, Paiton, Grati	7
	Jumlah	25

Sumber: Abri (2016)

Suralaya yang merupakan pembangkit dengan kapasitas terbesar digunakan sebagai *slack bus*. *Slack bus* merupakan *bus* yang digunakan untuk menyuplai kekurangan daya pada sistem. Sedangkan *bus* generator adalah *bus* yang besar dayanya telah ditentukan dan bisa dikendalikan.



Gambar 4.5 Single Line Diagram Pembangkit Jawa Bali 500 kV

Sumber: Abri (2016)

4.3.1 Simulasi *Economic Dispatch* dengan Metode *Firefly Algorithm*

Berikut adalah langkah-langkah penerapan metode *Firefly Algorithm* dalam *economic dispatch* Sistem 500 kV Jawa-Bali. Untuk contoh kali ini dilakukan perhitungan secara keseluruhan

1. Menentukan data awal pembangkitan, impedansi saluran dan fungsi biaya.
2. $F(P) = aP^2 + bP + c$

Tabel 4.9. Fungsi biaya pembangkit data 500 kV Jawa-Bali

Pembangkit	Fungsi Biaya
Suralaya	$31630.21 + 395668.05P_1 + 65.94P_1^2$
Muaratawar	$107892572.17 + 395668.05P_2 + 65.94P_2^2$
Cirata	$6000P_3$
Saguling	$395668.05P_4$
Tanjung Jati	$163648.18 + 197191.76P_5 + 21.88P_5^2$
Gresik	$13608770.96 + 777148.77P_6 + 132.15P_6^2$
Paiton	$8220765.38 + 37370.67P_7 + 52.19P_7^2$
Grati	$86557397.4 + 2004960.63P_8 + 533.92P_8^2$

Sumber: Sunaryatiningsih (2016)

Inisialisasi parameter algoritma *Firefly Algorithm*:

- a. Jumlah partikel dibuat sama dengan 6
 - b. Maksimum iterasi 50
3. Menentukan posisi awal partikel (X_i) dipilih berdasarkan batasan daya pembangkitan (P_{max} dan P_{min}) yang diacak secara *random*. Posisi partikel pada metode penelitian ini merupakan nilai daya pada masing-masing pembangkit yang akan dicari. Persamaan untuk menentukan nilai posisi awal partikel adalah $(P_{max} - P_{min}) \times \text{nilai random} + P_{min}$. Posisi awal partikel harus memenuhi *Inequality constraint* atau batasan daya maksimum dan minimum pembangkit. Salah satu posisi awal partikel digunakan sebagai *slack bus* untuk memenuhi *equality constraint* atau daya di sisi beban sama dengan penjumlahan daya pembangkit.
 4. Misalkan nilai *random* = 0,4 untuk partikel X_1 :
Pembangkit Muaratawar = $(2200 - 1040) \times 0,4 + 1040 = 1504$ MW

$$\text{Pembangkit Tanjung Jati} = (1220 - 600) \times 0,4 + 600 = 848 \text{ MW}$$

$$\text{Pembangkit Gresik} = (1050 - 238) \times 0,4 + 238 = 562,8 \text{ MW}$$

$$\text{Pembangkit Paiton} = (3254 - 1425) \times 0,4 + 1425 = 2156,6 \text{ MW}$$

$$\text{Pembangkit Grati} = (827 - 150) \times 0,4 + 150 = 420,8 \text{ MW}$$

$$\begin{aligned} \text{Pembangkit Suralaya} &= \text{Pload} - \text{Cirata} - \text{Saguling} - \text{Muaratawar} - \text{Tanjung Jati} - \text{Gresik} \\ &- \text{Paiton} - \text{Grati} = 3168,8 \text{ MW} \end{aligned}$$

Karena Cirata dan Saguling merupakan pembangkit tenaga air, maka daya yang dihasilkan dianggap tetap yaitu 1000 MW dan 700 MW.

Misalkan nilai *random* = 0,42 untuk partikel X_1 :

$$\text{Pembangkit Muaratawar} = (2200 - 1040) \times 0,42 + 1040 = 1527,2 \text{ MW}$$

$$\text{Pembangkit Tanjung Jati} = (1220 - 600) \times 0,42 + 600 = 860,4 \text{ MW}$$

$$\text{Pembangkit Gresik} = (1050 - 238) \times 0,42 + 238 = 546,56 \text{ MW}$$

$$\text{Pembangkit Paiton} = (3254 - 1425) \times 0,42 + 1425 = 2193,18 \text{ MW}$$

$$\text{Pembangkit Grati} = (827 - 150) \times 0,42 + 150 = 434,34 \text{ MW}$$

$$\text{Pembangkit Suralaya} = 3066,84 \text{ MW}$$

Nilai *random* 0,44 untuk partikel

$$\text{Pembangkit Muaratawar} = (2200 - 1040) \times 0,44 + 1040 = 1550,4 \text{ MW}$$

$$\text{Pembangkit Tanjung Jati} = (1220 - 600) \times 0,44 + 600 = 872,8 \text{ MW}$$

$$\text{Pembangkit Gresik} = (1050 - 238) \times 0,44 + 238 = 595,28 \text{ MW}$$

$$\text{Pembangkit Paiton} = (3254 - 1425) \times 0,44 + 1425 = 2229,76 \text{ MW}$$

$$\text{Pembangkit Grati} = (827 - 150) \times 0,44 + 150 = 447,88 \text{ MW}$$

$$\text{Pembangkit Suralaya} = 2964,88 \text{ MW}$$

Nilai *random* 0,46 untuk partikel

$$\text{Pembangkit Muaratawar} = (2200 - 1040) \times 0,46 + 1040 = 1573,6 \text{ MW}$$

$$\text{Pembangkit Tanjung Jati} = (1220 - 600) \times 0,46 + 600 = 885,2 \text{ MW}$$

$$\text{Pembangkit Gresik} = (1050 - 238) \times 0,46 + 238 = 611,52 \text{ MW}$$

$$\text{Pembangkit Paiton} = (3254 - 1425) \times 0,46 + 1425 = 2266,34 \text{ MW}$$

$$\text{Pembangkit Grati} = (827 - 150) \times 0,46 + 150 = 461,42 \text{ MW}$$

$$\text{Pembangkit Suralaya} = 2862,92 \text{ MW}$$

Nilai *random* 0.48 untuk partikel

$$\text{Pembangkit Muaratawar} = (2200 - 1040) \times 0.48 + 1040 = 1596,8 \text{ MW}$$

$$\text{Pembangkit Tanjung Jati} = (1220 - 600) \times 0.48 + 600 = 897,6 \text{ MW}$$

$$\text{Pembangkit Gresik} = (1050 - 238) \times 0.48 + 238 = 627,76 \text{ MW}$$

$$\text{Pembangkit Paiton} = (3254 - 1425) \times 0.48 + 1425 = 2302,92 \text{ MW}$$

$$\text{Pembangkit Grati} = (827 - 150) \times 0.48 + 150 = 474,96 \text{ MW}$$

$$\text{Pembangkit Suralaya} = 2760,96 \text{ MW}$$

Nilai *random* 0.5 untuk partikel

$$\text{Pembangkit Muaratawar} = (2200 - 1040) \times 0.5 + 1040 = 1620 \text{ MW}$$

$$\text{Pembangkit Tanjung Jati} = (1220 - 600) \times 0.5 + 600 = 910 \text{ MW}$$

$$\text{Pembangkit Gresik} = (1050 - 238) \times 0.5 + 238 = 644 \text{ MW}$$

$$\text{Pembangkit Paiton} = (3254 - 1425) \times 0.5 + 1425 = 2339,5 \text{ MW}$$

$$\text{Pembangkit Grati} = (827 - 150) \times 0.5 + 150 = 488,5 \text{ MW}$$

$$\text{Pembangkit Suralaya} = 2659 \text{ MW}$$

5. Evaluasi biaya untuk setiap partikel

Evaluasi biaya untuk partikel X_1 ;

$$F_{11} = 65,94(3168,8)^2 + 395668,05(3168,8) + 31630,21$$

$$F_{12} = 65,94(1504)^2 + 395668,05(1504) + 107892572,17$$

$$F_{13} = 21,88(848)^2 + 197191,76(848) + 163648,18$$

$$F_{14} = 132,15(562,8)^2 + 777148,77(562,8) + 13608770,96$$

$$F_{15} = 52,19(2156,6)^2 + 37370,67(2156,6) + 8220765,38$$

$$F_{16} = 533,92(420,8)^2 + 2004960,63(420,8) + 86557397,4$$

$$F_{T1} = F_{11} + F_{12} + F_{13} + F_{14} + F_{15} + F_{16} = 5.083.345.140 \text{ Rupiah/jam}$$

Evaluasi biaya untuk partikel X_2 ;

$$F_{11} = 65,94(3066,84)^2 + 395668,05(3066,84) + 31630,21$$

$$F_{12} = 65,94(1527,2)^2 + 395668,05(1527,2) + 107892572,17$$

$$F_{13} = 21,88(860,4)^2 + 197191,76(860,4) + 163648,18$$

$$F_{14} = 132,15(579,04)^2 + 777148,77(579,04) + 13608770,96$$

$$F_{15} = 52,19(2193,18)^2 + 37370,67(2193,18) + 8220765,38$$

$$F_{16} = 533,92(434,34)^2 + 2004960,63(434,34) + 86557397,4$$

$$F_{T1} = F_{11} + F_{12} + F_{13} + F_{14} + F_{15} + F_{16} = 5.075.876.300 \text{ Rupiah/jam}$$

Evaluasi biaya untuk partikel X_3 ;

$$F_{11} = 65,94(2964,88)^2 + 395668,05(2964,88) + 31630,21$$

$$F_{12} = 65,94(1550,4)^2 + 395668,05(1550,4) + 107892572,17$$

$$F_{13} = 21,88(872,8)^2 + 197191,76(872,8) + 163648,18$$

$$F_{14} = 132,15(595,28)^2 + 777148,77(595,28) + 13608770,96$$

$$F_{15} = 52,19(2229,76)^2 + 37370,67(2229,76) + 8220765,38$$

$$F_{16} = 533,92(447,88)^2 + 2004960,63(447,88) + 86557397,4$$

$$F_{T1} = F_{11} + F_{12} + F_{13} + F_{14} + F_{15} + F_{16} = 5.070.261.320 \text{ Rupiah/jam}$$

Evaluasi biaya untuk partikel X_4 ;

$$F_{11} = 65,94(2862,92)^2 + 395668,05(2862,92) + 31630,21$$

$$F_{12} = 65,94(1573,6)^2 + 395668,05(1573,6) + 107892572,17$$

$$F_{13} = 21,88(885,2)^2 + 197191,76(885,2) + 163648,18$$

$$F_{14} = 132,15(611,52)^2 + 777148,77(611,52) + 13608770,96$$

$$F_{15} = 52,19(2266,34)^2 + 37370,67(2266,34) + 8220765,38$$

$$F_{16} = 533,92(461,42)^2 + 2004960,63(461,42) + 86557397,4$$

$$F_{T1} = F_{11} + F_{12} + F_{13} + F_{14} + F_{15} + F_{16} = 5.066.500.201 \text{ Rupiah/jam}$$

Evaluasi biaya untuk partikel X_5 ;

$$F_{11} = 65,94(2760,96)^2 + 395668,05(2760,96) + 31630,21$$

$$F_{12} = 65,94(1596,8)^2 + 395668,05(1596,8) + 107892572,17$$

$$F_{13} = 21,88(897,6)^2 + 197191,76(897,6) + 163648,18$$

$$F_{14} = 132,15(627,76)^2 + 777148,77(627,76) + 13608770,96$$

$$F_{15} = 52,19(2302,92)^2 + 37370,67(2302,92) + 8220765,38$$

$$F_{16} = 533,92(474,96)^2 + 2004960,63(474,96) + 86557397,4$$

$$F_{T1} = F_{11} + F_{12} + F_{13} + F_{14} + F_{15} + F_{16} = 5.064.592.943 \text{ Rupiah/jam}$$

Evaluasi biaya untuk partikel X_6 ;

$$F_{11} = 65,94(2659)^2 + 395668,05(2659) + 31630,21$$

$$F_{12} = 65,94(1620)^2 + 395668,05(1620) + 107892572,17$$

$$F_{13} = 21,88(910)^2 + 197191,76(910) + 163648,18$$

$$F_{14} = 132,15(644)^2 + 777148,77(644) + 13608770,96$$

$$F_{15} = 52,19(2339,5)^2 + 37370,67(2339,5) + 8220765,38$$

$$F_{16} = 533,92(488,5)^2 + 2004960,63(488,5) + 86557397,4$$

$$F_{T1} = F_{11} + F_{12} + F_{13} + F_{14} + F_{15} + F_{16} = 5.064.539.545 \text{ Rupiah/jam}$$

6. Nilai G_{best} adalah nilai daya dengan total biaya terkecil pada evaluasi biaya. Nilai biaya terkecil berada pada partikel 1 yaitu 775.4073 US\$/h, maka nilai G_{best} adalah nilai daya dari partikel pertama.
7. Pada penelitian ini ditentukan nilai $\alpha = 2$, $\beta_0 = 1$, $\gamma = 1$ (Xin S. Yang, 2009).
8. Evaluasi ke rumus *Firefly Algorithm* pada Persamaan (2-14):

$$r_{ij} \sqrt{\sum_{k=1}^d (P_{i,k} - P_{j,k})^2}$$

Misalkan P_1 pada partikel X_1 dan X_2

$$\begin{aligned} r_{12} &= \sqrt{\sum_{k=1}^8 (P_{1,k} - P_{2,k})^2} \\ &= \sqrt{(3168,8 - 3066,84)^2 + \dots + (700 - 700)^2} \\ &= 113,4593 \end{aligned}$$

Dengan menggunakan rumus *Acctractiveness* pada Persamaan (2-12), didapatkan nilai β sebagai berikut:

$$\begin{aligned} \beta &= \beta_0 \exp(-\gamma r^2) \\ &= 1. \exp(-1. 113,4593^2) \\ &= 0 \end{aligned}$$

Dengan menggunakan rumus pada Persamaan (2-15), diperoleh nilai daya (P) pada iterasi $i = 1$ sebagai berikut:

$$\begin{aligned} P_{1,1} &= P_{1,1} + \beta(P_{1,1} - P_{2,1}) + \alpha \left(rand - \frac{1}{2} \right), \text{ misalkan } rand = 0,2 \\ &= 3168,8 + 0 \times (3168,8 - 3066,84) + 2 \left(0,2 - \frac{1}{2} \right) \\ &= 3168,2 \end{aligned}$$

Selanjutnya akan dicari biaya dengan menggunakan Persamaan (2-4) sebagai berikut:

$$\begin{aligned} F_{1,1} &= 65,94(3168,2)^2 + 395668,05 (3168,2) + 31630,21 \\ &= \text{Rp. } 1.915.459.319 / \text{jam} \end{aligned}$$

Untuk iterasi selanjutnya menggunakan Persamaan yang sama tetapi menggunakan nilai daya (P) pada iterasi sebelumnya.

9. Cek apakah solusi sudah konvergen, jika belum konvergen ulangi langkah 6 sampai 7 hal ini dilakukan sampai konvergen.
10. Setelah konvergen akan didapatkan biaya total optimun

4.3.2 Data Pembangkit Termal Sistem 500 kV Jawa-Bali

Pembangkit termal yang dimiliki oleh sistem 500 kV Jawa-Bali berjumlah 38 unit yang dapat dilihat dalam tabel 4.10 berikut dimana untuk harga bahan bakar berdasarkan statistik PLN tahun 2013 dimana nilai tukar yang dipakai 12.000 per dolar Amerika.

Tabel 4.10 Data Unit Termal Sistem 500 kV Jawa-Bali

No	Pembangkit	Bahan Bakar	Kapasitas (MW)		Koefisien Biaya Bahan Bakar		
			Min	Max	a	b	c
1	PLTU Paiton 1	Coal	225	370	3.244.978,0	111.712,1	10,3
2	PLTU Paiton 2	Coal	225	370	3.244.978,0	111.712,1	10,3
3	PLTGU Gresik 1.1	Gas	53	102	5.467.532,4	217.963,6	34,1
4	PLTGU Gresik 1.2	Gas	53	102	5.467.532,4	217.963,6	34,1
5	PLTGU Gresik 1.3	Gas	53	102	5.467.532,4	217.963,6	34,1
6	PLTGU Gresik 2.1	Gas	53	102	5.467.532,4	217.963,6	34,1
7	PLTGU Gresik 2.2	Gas	53	102	5.467.532,4	217.963,6	34,1
8	PLTGU Gresik 2.3	Gas	53	102	5.467.532,4	217.963,6	34,1
9	PLTGU Gresik 3.1	Gas	53	102	5.467.532,4	217.963,6	34,1
10	PLTGU Gresik 3.2	Gas	53	102	5.467.532,4	217.963,6	34,1
11	PLTGU Gresik 3.3	Gas	53	102	5.467.532,4	217.963,6	34,1
12	PLTGU Gresik 1.0	Gas	115	143	10.936.203,3	72.527,0	368,9
13	PLTGU Gresik 2.0	Gas	115	143	10.936.203,3	72.527,0	368,9
14	PLTGU Gresik 3.0	Gas	115	143	10.936.203,3	72.527,0	368,9
15	PLTU Gresik 1	Gas	43	85	1.327.126,7	217.378,4	132,1
16	PLTU Gresik 2	Gas	43	85	1.327.126,7	217.378,4	132,1
17	PLTU Gresik 3	Gas	90	175	5.017.369,5	169.242,6	193,5
18	PLTU Gresik 4	Gas	90	175	5.017.369,5	169.242,6	193,5
19	PLTG Gresik 1	Gas	5	16	352.707,3	350.680,7	903,9
20	PLTG Gresik 2	Gas	5	16	352.707,3	350.680,7	903,9
21	PLTG Gresik 3	Gas	5	16	352.707,3	350.680,7	903,9
22	PLTG Gilitimur 1	HSD	5	16	687.181,8	683.240,9	1.762,4
23	PLTG Gilitimur 2	HSD	5	16	687.181,8	683.240,9	1.762,4
24	PLTGU M. Karang 1.1	Gas	50	95	5.730.795,0	202.052,9	108,1
25	PLTGU M. Karang 1.2	Gas	50	95	5.730.795,0	202.052,9	108,1
26	PLTGU M. Karang 1.3	Gas	50	95	5.730.795,0	202.052,9	108,1
27	PLTGU M. Karang 1.0	HSD	110	150	11.560.815,0	53.685,1	460,8
28	PLTGU M. Tawar 1.1	HSD	72	138	14.706.521,2	433.337,8	49,5
29	PLTGU M. Tawar 1.1	HSD	72	138	14.706.521,2	433.337,8	49,5
30	PLTGU M. Tawar 1.1	HSD	72	138	14.706.521,2	433.337,8	49,5
31	PLTGU M. Tawar 1.1	HSD	72	138	14.706.521,2	433.337,8	49,5

No	Pembangkit	Bahan Bakar	Kapasitas (MW)		Koefisien Biaya Bahan Bakar		
			Min	Max	a	b	c
32	PLTGU M. Tawar 1.1	HSD	72	138	14.706.521,2	433.337,8	49,5
33	PLTGU M. Tawar 1.1	HSD	162	202	672.630,0	144.191,7	519,2
34	PLTU M. Karang 1	MFO	44	85	2.417.820,7	473.895,4	120,8
35	PLTU M. Karang 2	MFO	44	85	2.417.820,7	473.895,4	120,8
36	PLTU M. Karang 3	MFO	44	85	2.417.820,7	473.895,4	120,8
37	PLTU M. Karang 4	Gas	90	165	2.949.187,7	205.217,5	83,8
38	PLTU M. Karang 5	Gas	90	165	2.949.187,7	205.217,5	83,8

Sumber: Sunaryatiningsih (2016)

4.3.3 Analisis Perhitungan Sistem 500 kV Jawa-Bali

Analisis pada penelitian kali ini dilakukan pada kebutuhan daya yang telah ditanggung oleh sistem 500 kV Jawa-Bali pada. Analisa dan Perhitungan data dilakukan untuk ketiga hari tersebut, karena ketiga hari tersebut mewakili karakteristik kurva yang berlainan dimana hari kamis disebut sebagai hari kerja beban penuh, hari sabtu sebagai beban setengah hari kerja dan hari minggu sebagai beban hari libur.

Berdasarkan data unit yang terdapat pada sistem 500 kV Jawa-Bali dalam tabel 4.10 ternyata ada 38 unit pembangkit yang berada dalam kondisi siap beroperasi. Data unit termal yang diperoleh dari sistem 500 kV Jawa-Bali terdapat hasil jumlah total pembangkitan, beban total, dan cadangan berputar pada setiap jam didalamnya. Data tersebut tidak digunakan dalam perhitungan karena menyangkut sistem secara keseluruhan dalam suatu area. Energi listrik di area Jawa-Bali tidak hanya disuplai oleh Pembangkit Jawa-Bali saja, namun disuplai juga oleh PT. Indonesia Power dan juga Pembangkit milik swasta lainnya. Jadi tidak relevan jika dalam penelitian ini dilakukan analisis secara keseluruhan, sedangkan aplikasi penelitian ini hanya pada sistem 500 kV Jawa-Bali.

Sistem 500 kV Jawa-Bali tidak mempunyai dasar yang pasti untuk menentukan nilai dari cadangan berputar setiap jamnya, namun mereka mengasumsikan bahwa nilai dari cadangan berputar diambil dari daya terpasang terbesar dari unit pembangkit PLTU Paiton yaitu sebesar 400 MW.

4.3.4 Beban Sistem Unit Termal

Pembangkit-pembangkit yang berada di wilayah Jawa-Bali dikoordinasi oleh Sistem 500 kV Jawa-Bali. Proses penjadwalan pembangkit dengan metode *Firefly Algorithm* bertujuan untuk memperoleh rencana penjadwalan pembangkit yang dapat memenuhi kebutuhan beban dengan biaya operasi ekonomis.

Untuk mengetahui seberapa besar efisiensi dari penggunaan metode ini, maka dilakukan evaluasi dengan mengambil data beban sistem pada pembangkit termal sistem 500 kV Jawa-Bali. Berikut adalah beban sistem yang ditanggung oleh pembangkit termal saja.

Tabel 4.11 Data Beban Unit Termal Sistem 500 kV Jawa-Bali

Jam	Kamis		Sabtu		Minggu	
	Beban Sistem	Cadangan Berputar	Beban Sistem	Cadangan Berputar	Beban Sistem	Cadangan Berputar
	(MW)		(MW)		(MW)	
01.00	3205	400	3140	400	2956	400
02.00	3035	400	3000	400	2860	400
03.00	3035	400	3000	400	2860	400
04.00	3085	400	3000	400	2860	400
05.00	3290	400	3110	400	2869	400
06.00	2880	400	2712	400	2869	400
07.00	2790	400	2682	400	2640	400
08.00	3220	400	3020	400	2450	400
09.00	3275	400	3105	400	2520	400
10.00	3275	400	3105	400	2620	400
11.00	3275	400	3105	400	2620	400
12.00	3195	400	3025	400	2570	400
13.00	3210	400	2890	400	2570	400
14.00	3260	400	2849	400	2545	400
15.00	3357	400	2806	400	2587	400
16.00	3447	400	2804	400	2587	400
17.00	3525	400	2814	400	2790	400
18.00	3650	400	3700	400	3685	400
19.00	3820	400	3700	400	3685	400
20.00	3770	400	2685	400	3685	400
21.00	3540	400	3330	400	3370	400
22.00	3360	400	3120	400	3220	400
23.00	3345	400	3095	400	3195	400
24.00	3205	400	3080	400	3050	400

Sumber: Sunaryatiningsih (2016)

4.3.5 Analisis Penjadwalan Pembangkit Termal Sistem 500 kV Jawa-Bali

Penjadwalan setiap unit pembangkit dapat dilakukan setelah melakukan perhitungan. Kombinasi setiap unit akan dapat dilihat setelah dilakukan analisis dengan metode *Firefly Algorithm* sesuai dengan simulasi yang dilakukan dengan aplikasi *Matlab*. Setelah proses perhitungan dengan *Matlab* dilakukan maka didapat total biaya dari setiap jamnya. Namun biaya dalam setiap jam tidak sama karena beban setiap jam selalu berubah-ubah. Setelah mendapatkan hasil optimal dari perhitungannya, selanjutnya dilakukan

kombinasi penjadwalan mengenai pembangkit mana saja yang dinyalakan atau dimatikan sesuai dengan perhitungan.

Tabel 4.12. Total Biaya pada sistem 500 KV Jawa-Bali menggunakan Metode *FA*

Jam	Kamis		Sabtu		Minggu	
	Beban Sistem (MW)	Total Biaya (Rupiah)	Beban Sistem (MW)	Total Biaya (rupiah)	Beban Sistem (MW)	Total Biaya (rupiah)
01.00	3205	577.433.087,5	3140	525.007.846,5	2956	463.095.818,5
02.00	3035	593.376.847,6	3000	545.210.186,9	2860	522.988.931,6
03.00	3035	657.830.925,2	3000	600.774.046,9	2860	574.107.682,8
04.00	3085	652.151.796,2	3000	600.774.046,9	2860	574.107.682,8
05.00	3290	660.506.448,4	3110	588.268.633,1	2869	573.049.193,8
06.00	2880	675.763.507,6	2712	634.696.121,2	2869	510.586.364,1
07.00	2790	686.403.089,8	2682	638.327.932,6	2640	538.037.940,7
08.00	3220	652.536.345	3020	598.481.795,3	2450	561.634.340,9
09.00	3275	658.790.071,6	3105	588.831.653,5	2520	552.854.410,3
10.00	3275	658.790.071,6	3105	588.831.653,5	2620	540.486.752,3
11.00	3275	658.790.071,6	3105	588.831.653,5	2620	540.486.752,3
12.00	3195	808.305.798,1	3025	734.626.792,4	2570	656.018.249,3
13.00	3210	809.997.454,9	2890	750.245.493,2	2570	656.018.249,3
14.00	3260	815.669.785,9	2849	755.063.275,3	2545	659.116.601,3
15.00	3357	578.548.860,9	2806	519.926.359,7	2587	461.737.192,1
16.00	3447	619.459.781,3	2804	520.164.030,9	2587	461.737.192,1
17.00	3525	791.246.547	2814	611.232.569,1	2790	799.271.613,7
18.00	3650	854.472.157,7	3700	860.597.688,7	3685	820.240.979,7
19.00	3820	765.047.664,1	3700	706.663.836,1	3685	675.636.451,5
20.00	3770	758.798.533,1	2685	696.475.141,7	3685	675.636.451,5
21.00	3540	730.715.850,5	3330	662.554.426,7	3370	6380.02.733,7
22.00	3360	720.870.371,9	3120	656.693.020,4	3220	631.169.050,2
23.00	3345	719.132.365,1	3095	659.508.122,4	3195	628.347.047,2
24.00	3205	874.617.327,1	3080	827.642.599,2	3050	791.106.493,4
Total	79049	16.979254.759	72877	15.459.428.926	69663	14.505.474.175

Sumber: Hasil Perhitungan

Tabel di atas menunjukkan total biaya pembangkitan dengan menggunakan metode *Firefly Algorithm* yang digunakan untuk menyuplai daya pada hari Kamis, Sabtu, dan Minggu. Total daya selama 24 jam pada hari Kamis, Sabtu dan Minggu berturut-turut adalah 79.049 MW, 72877 MW, 69663 MW. Pada Tabel di atas terlihat bahwa dengan menggunakan metode *Firefly Algorithm* selama 24 jam menghasilkan biaya Rp. 16.979254.759,- pada hari Kamis, Rp. 15.459.428.926,- pada hari Sabtu dan Rp. 14.505.474.175,- pada hari Minggu.

4.4 Analisis Perbandingan Metode *Firefly Algorithm* dengan Metode *Lagrange*

Setelah didapatkan perhitungan yang dapat kita lihat pada tabel 4.12 maka akan dibandingkan dengan perhitungan metode *Lagrange*. Untuk perhitungan dengan metode *Lagrange* didapatkan dari penelitian sebelumnya. Berikut adalah tabel perbandingan dan selisih dari setiap jamnya.

Tabel 4.13 Perbandingan Metode *FA* dan *Langrange* pada hari Kamis

Jam	Kamis		Selisih Antar Metode (Rp)
	<i>Lagrange</i> (Rp)	<i>FA</i> (Rp)	
01.00	776.761.138	577.433.088	199.328.050
02.00	705.621.586	593.376.848	112.244.738
03.00	705.621.586	657.830.925	47.790.661
04.00	719.392.000	652.151.796	67.240.204
05.00	801.061.977	660.506.448	140.555.529
06.00	685.123.630	675.763.508	9.360.122
07.00	648.335.634	686.403.090	38.067.456
08.00	778.544.533	652.536.345	126.008.188
09.00	792.479.469	658.790.072	133.689.397
10.00	792.479.469	658.790.072	133.689.397
11.00	792.479.469	658.790.072	133.689.397
12.00	779.497.649	808.305.798	28.808.149
13.00	780.598.672	809.997.455	29.398.783
14.00	794.364.084	815.669.786	21.305.702
15.00	847.649.083	578.548.861	269.100.222
16.00	863.101.025	619.459.781	243.641.244
17.00	849.444.762	791.246.547	58.198.215
18.00	873.033.012	854.472.158	18.560.854
19.00	920.727.099	765.047.664	155.679.435
20.00	905.112.311	758.798.533	146.313.778
21.00	848.997.762	730.715.850	118.281.912
22.00	802.277.589	720.870.372	81.407.217
23.00	798.842.450	719.132.365	79.710.085
24.00	767.137.625	874.617.327	107.479.702
Total	19.028.683.614	16.979.254.759	2.499.548.438

Sumber: Hasil Perhitungan

Tabel 4.14 Perbandingan Metode *FA* dan *Langrange* pada hari Sabtu

Jam	Sabtu		Selisih Antar Metode (Rp)
	<i>Langrange</i> (Rp)	<i>FA</i> (Rp)	
01.00	634.728.535	525.007.847	109.720.688
02.00	600.829.874	545.210.187	55.619.687
03.00	600.829.874	600.774.047	55.827
04.00	696.839.874	600.774.047	96.065.827
05.00	696.839.869	588.268.633	108.571.236
06.00	606.563.839	634.696.121	28.132.282
07.00	597.453.338	638.327.933	40.874.595
08.00	625.667.561	598.481.795	27.185.766
09.00	656.382.614	588.831.654	67.550.960
10.00	656.382.614	588.831.654	67.550.960
11.00	656.382.614	588.831.654	67.550.960
12.00	646.382.614	734.626.792	88.244.178
13.00	640.767.826	750.245.493	109.477.667
14.00	630.767.826	755.063.275	124.295.449
15.00	635.496.448	519.926.360	115.570.088
16.00	656.784.931	520.164.031	136.620.900
17.00	696.703.277	611.232.569	85.470.708
18.00	857.932.001	860.597.689	2.665.688
19.00	857.932.001	706.663.836	151.268.165
20.00	657.932.001	696.475.142	38.543.141
21.00	748.621.005	662.554.427	86.066.578
22.00	729.317.467	656.693.020	72.624.447
23.00	692.381.047	659.508.122	32.872.925
24.00	656.068.702	827.642.599	171.573.897
Total	16.135.987.752	15.459.428.926	1.884.172.621

Sumber: Hasil Perhitungan

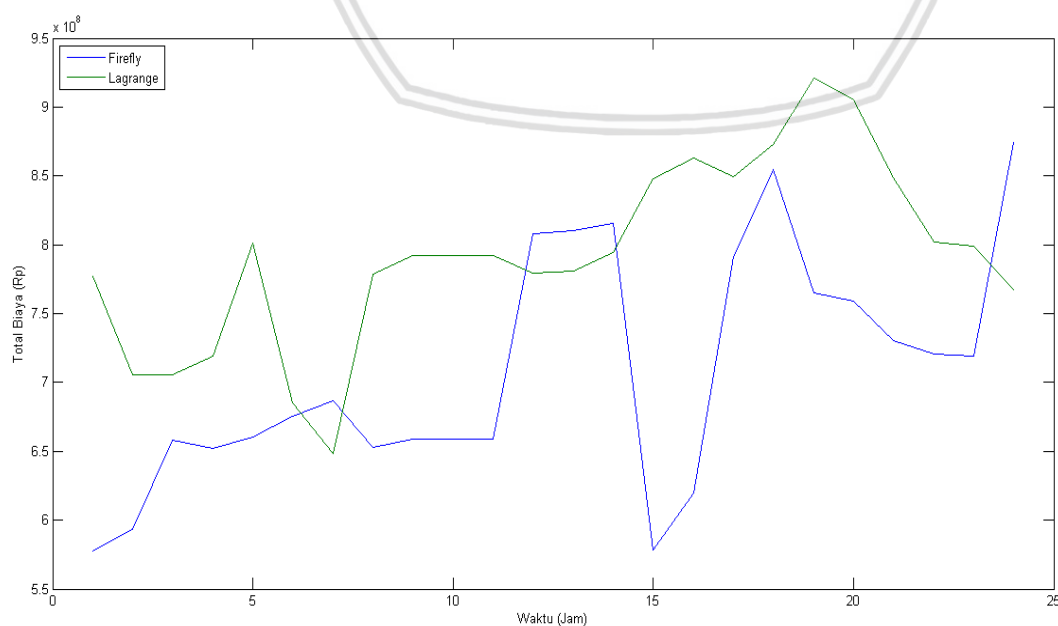
Tabel 4.15 Perbandingan Metode *FA* dan *Langrange* pada hari Minggu

Jam	Minggu		Selisih Antar Metode (Rp)
	<i>Langrange</i> (Rp)	<i>FA</i> (Rp)	
01.00	634.728.535	463.095.819	171.632.716
02.00	600.829.874	522.988.932	77.840.942
03.00	600.829.874	574.107.683	26.722.191
04.00	596.839.874	574.107.683	22.732.191
05.00	596.839.874	573.049.194	23.790.680
06.00	606.563.839	510.586.364	95.977.475
07.00	597.453.338	538.037.941	59.415.397

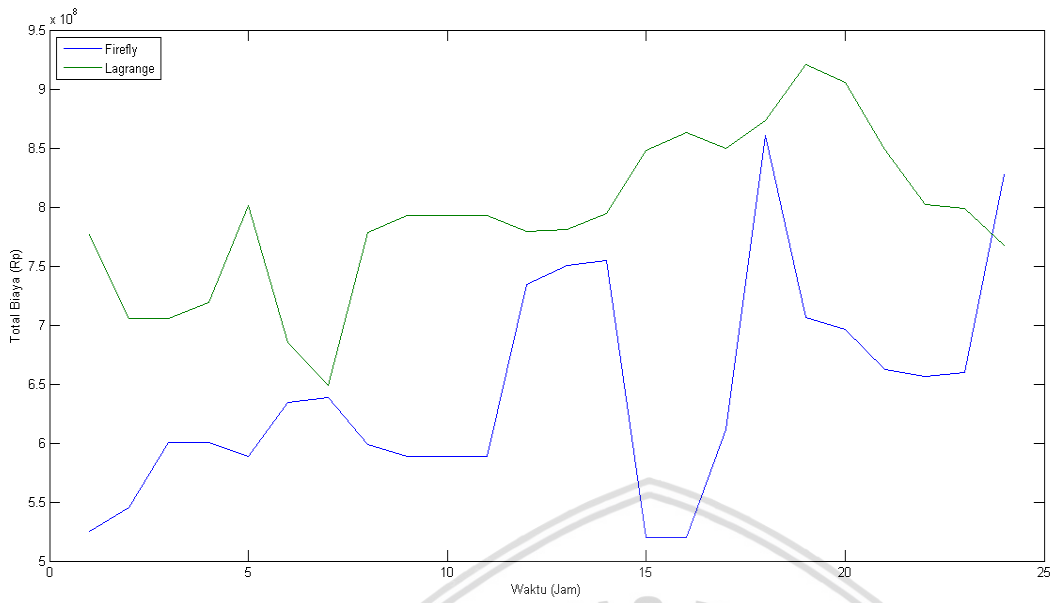
Jam	Minggu		Selisih Antar Metode (Rp)
	Lagrange (Rp)	FA (Rp)	
08.00	595.667.561	561.634.341	34.033.220
09.00	593.942.121	552.854.410	41.087.711
10.00	596.382.614	540.486.752	55.895.862
11.00	596.382.614	540.486.752	55.895.862
12.00	556.382.614	656.018.249	99.635.635
13.00	590.767.826	656.018.249	65.250.423
14.00	590.767.826	659.116.601	68.348.775
15.00	635.496.448	461.737.192	173.759.256
16.00	576.784.931	461.737.192	115.047.739
17.00	696.703.277	799.271.614	102.568.337
18.00	857.932.002	820.240.980	37.691.022
19.00	857.932.002	675.636.452	182.295.550
20.00	857.932.002	675.636.452	182.295.550
21.00	748.621.005	638.002.734	110.618.271
22.00	729.317.467	631.169.050	98.148.417
23.00	692.381.047	628.347.047	64.034.000
24.00	656.068.702	791.106.493	135.037.791
Total	15.663.547.267	14.505.474.175	2.099.755.016

Sumber: Hasil Perhitungan

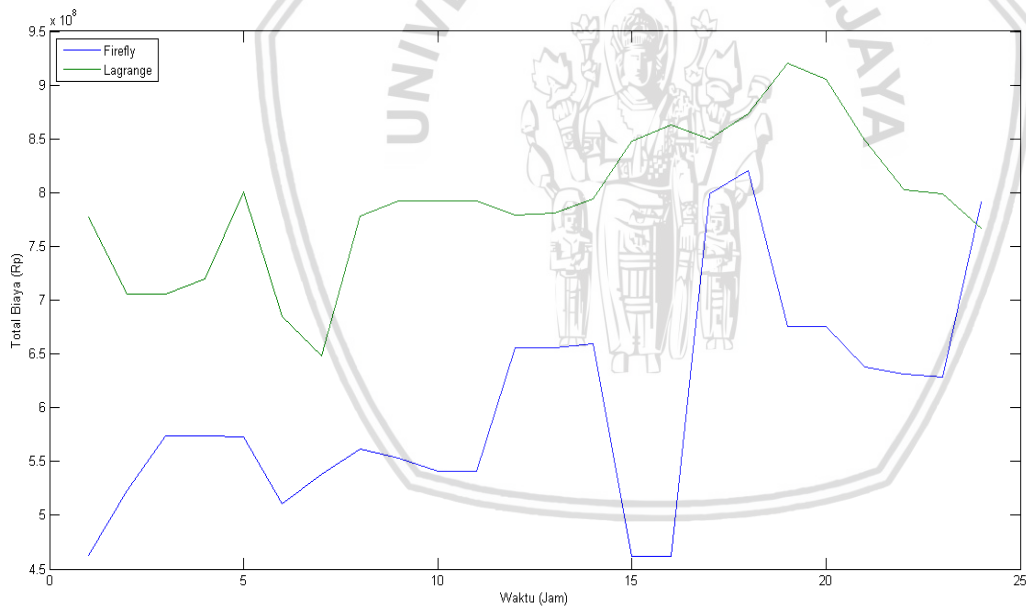
Dari tabel di atas didapatkan total perbandingan biaya operasional selama 24 jam dari kedua metode tersebut. Setelah dilakukan analisis diperoleh total biaya pada hari Kamis, Sabtu dan Minggu secara berurutan adalah sebesar Rp. 16.979.254.759,- , Rp. 15.459.428.926,- dan Rp. 14.505.474.175,-. Penggunaan metode *Firefly Algorithm* terlihat lebih ekonomis dibandingkan dengan metode *Lagrange*.



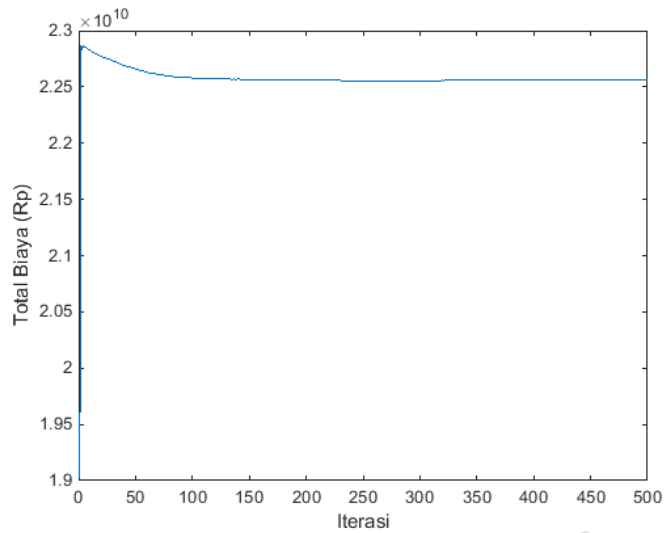
Gambar 4.6. Grafik perbandingan metode *FA* dan *Lagrange* hari Kamis



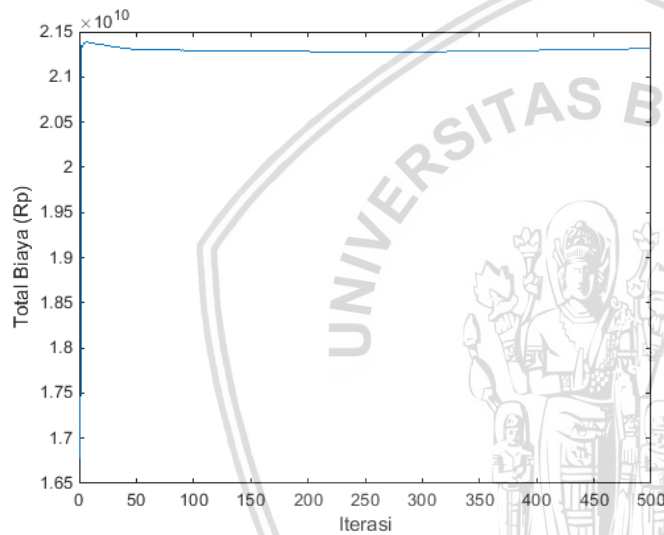
Gambar 4.7. Grafik perbandingan metode *FA* dan *Lagrange* hari Sabtu



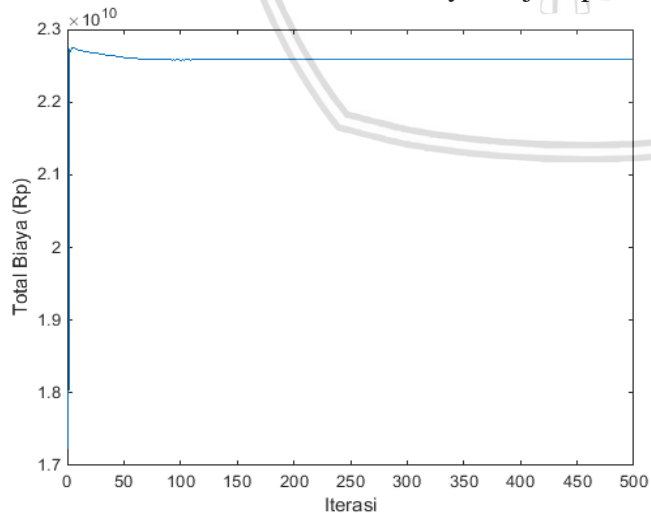
Gambar 4.8 Grafik perbandingan metode *FA* dan *Lagrange* hari Minggu



Gambar 4.9 Grafik iterasi total biaya 24 jam pada hari Kamis Menggunakan metode FA



Gambar 4.10 Grafik iterasi total biaya 24 jam pada hari Sabtu menggunakan metode FA



Gambar 4.11 Grafik iterasi total biaya 24 jam pada hari Minggu menggunakan metode FA

Dari Gambar 4.7, 4.8 dan 4.9 dapat dilihat grafik simulasi iterasi total biaya penjadwalan 24 jam menggunakan metode *Firefly Algorithm*

Tabel 4.16 Hasil Analisis Kombinasi Penjadwalan Pembangkit pada 4 Desember 2011

Jam	Pembangkit (MW)																				
	P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7	P8	P9	P10	P11	P12	P13	P14	P15	P16	P17	P18	P19	P20	P21
01.00	370	370	53	53	53	53	53	53	53	53	53	135.5	135.5	135.5	43	43	128	128	5	5	5
02.00	115.8	283	72.6	72.6	72.6	72.6	72.6	72.6	72.6	72.6	72.6	126.2	126.2	126.2	59.8	59.8	124	124	9.4	9.4	9.4
03.00	115.8	283	72.6	72.6	72.6	72.6	72.6	72.6	72.6	72.6	72.6	126.2	126.2	126.2	59.8	59.8	124	124	9.4	9.4	9.4
04.00	65.8	283	72.6	72.6	72.6	72.6	72.6	72.6	72.6	72.6	72.6	126.2	126.2	126.2	59.8	59.8	124	124	9.4	9.4	9.4
05.00	139.2	283	72.6	72.6	72.6	72.6	72.6	72.6	72.6	72.6	72.6	126.2	126.2	126.2	59.8	59.8	124	124	9.4	9.4	9.4
06.00	270.8	283	72.6	72.6	72.6	72.6	72.6	72.6	72.6	72.6	72.6	126.2	126.2	126.2	59.8	59.8	124	124	9.4	9.4	9.4
07.00	360.8	283	72.6	72.6	72.6	72.6	72.6	72.6	72.6	72.6	72.6	126.2	126.2	126.2	59.8	59.8	124	124	9.4	9.4	9.4
08.00	69.2	283	72.6	72.6	72.6	72.6	72.6	72.6	72.6	72.6	72.6	126.2	126.2	126.2	59.8	59.8	124	124	9.4	9.4	9.4
09.00	124.2	283	72.6	72.6	72.6	72.6	72.6	72.6	72.6	72.6	72.6	126.2	126.2	126.2	59.8	59.8	124	124	9.4	9.4	9.4
10.00	124.2	283	72.6	72.6	72.6	72.6	72.6	72.6	72.6	72.6	72.6	126.2	126.2	126.2	59.8	59.8	124	124	9.4	9.4	9.4
11.00	124.2	283	72.6	72.6	72.6	72.6	72.6	72.6	72.6	72.6	72.6	126.2	126.2	126.2	59.8	59.8	124	124	9.4	9.4	9.4
12.00	44.2	283	72.6	72.6	72.6	72.6	72.6	72.6	72.6	72.6	72.6	126.2	126.2	126.2	59.8	59.8	124	124	9.4	9.4	9.4
13.00	59.2	283	72.6	72.6	72.6	72.6	72.6	72.6	72.6	72.6	72.6	126.2	126.2	126.2	59.8	59.8	124	124	9.4	9.4	9.4
14.00	109.2	283	72.6	72.6	72.6	72.6	72.6	72.6	72.6	72.6	72.6	126.2	126.2	126.2	59.8	59.8	124	124	9.4	9.4	9.4
15.00	206.2	283	72.6	72.6	72.6	72.6	72.6	72.6	72.6	72.6	72.6	126.2	126.2	126.2	59.8	59.8	124	124	9.4	9.4	9.4
16.00	296.2	283	72.6	72.6	72.6	72.6	72.6	72.6	72.6	72.6	72.6	126.2	126.2	126.2	59.8	59.8	124	124	9.4	9.4	9.4
17.00	374.2	283	72.6	72.6	72.6	72.6	72.6	72.6	72.6	72.6	72.6	126.2	126.2	126.2	59.8	59.8	124	124	9.4	9.4	9.4
18.00	499.2	283	72.6	72.6	72.6	72.6	72.6	72.6	72.6	72.6	72.6	126.2	126.2	126.2	59.8	59.8	124	124	9.4	9.4	9.4
19.00	669.2	283	72.6	72.6	72.6	72.6	72.6	72.6	72.6	72.6	72.6	126.2	126.2	126.2	59.8	59.8	124	124	9.4	9.4	9.4
20.00	619.2	283	72.6	72.6	72.6	72.6	72.6	72.6	72.6	72.6	72.6	126.2	126.2	126.2	59.8	59.8	124	124	9.4	9.4	9.4
21.00	389.2	283	72.6	72.6	72.6	72.6	72.6	72.6	72.6	72.6	72.6	126.2	126.2	126.2	59.8	59.8	124	124	9.4	9.4	9.4
22.00	209.2	283	72.6	72.6	72.6	72.6	72.6	72.6	72.6	72.6	72.6	126.2	126.2	126.2	59.8	59.8	124	124	9.4	9.4	9.4
23.00	194.2	283	72.6	72.6	72.6	72.6	72.6	72.6	72.6	72.6	72.6	126.2	126.2	126.2	59.8	59.8	124	124	9.4	9.4	9.4
24.00	54.2	283	72.6	72.6	72.6	72.6	72.6	72.6	72.6	72.6	72.6	126.2	126.2	126.2	59.8	59.8	124	124	9.4	9.4	9.4

Jam	Pembangkit (MW)																	Beban Sistem (MW)
	P22	P23	P24	P25	P26	P27	P28	P29	P30	P31	P32	P33	P34	P35	P36	P37	P38	
01.00	0	0	50	50	50	132.6	0	0	0	0	0	201.8	0	0	44	118.9	118.9	3205
02.00	0	0	68	68	68	126	0	0	0	0	0	178	0	0	60.4	120	120	3035
03.00	0	0	68	68	68	126	0	0	0	0	0	178	0	0	60.4	120	120	3035
04.00	0	0	68	68	68	126	0	0	0	0	0	178	0	0	60.4	120	120	3085
05.00	0	0	68	68	68	126	0	0	0	0	0	178	0	0	60.4	120	120	3290
06.00	0	0	68	68	68	126	0	0	0	0	0	178	0	0	60.4	120	120	2880
07.00	0	0	68	68	68	126	0	0	0	0	0	178	0	0	60.4	120	120	2790
08.00	0	0	68	68	68	126	0	0	0	0	0	178	0	0	60.4	120	120	3220
09.00	0	0	68	68	68	126	0	0	0	0	0	178	0	0	60.4	120	120	3275
10.00	0	0	68	68	68	126	0	0	0	0	0	178	0	0	60.4	120	120	3275
11.00	0	0	68	68	68	126	0	0	0	0	0	178	0	0	60.4	120	120	3275
12.00	0	0	68	68	68	126	0	0	0	0	0	178	0	0	60.4	120	120	3195
13.00	0	0	68	68	68	126	0	0	0	0	0	178	0	0	60.4	120	120	3210
14.00	0	0	68	68	68	126	0	0	0	0	0	178	0	0	60.4	120	120	3260
15.00	0	0	68	68	68	126	0	0	0	0	0	178	60.4	0	60.4	120	120	3357
16.00	0	0	68	68	68	126	0	0	0	0	0	178	60.4	60.4	60.4	120	120	3447
17.00	0	0	68	68	68	126	0	98.4	0	0	0	178	60.4	60.4	60.4	120	120	3525
18.00	0	0	68	68	68	126	0	98.4	98.4	0	0	178	60.4	60.4	60.4	120	120	3650
19.00	0	0	68	68	68	126	0	98.4	98.4	98.4	0	178	60.4	60.4	60.4	120	120	3820
20.00	0	0	68	68	68	126	0	98.4	98.4	98.4	0	178	60.4	60.4	60.4	120	120	3770
21.00	0	0	68	68	68	126	0	98.4	98.4	98.4	0	178	60.4	60.4	60.4	120	120	3540
22.00	0	0	68	68	68	126	0	98.4	98.4	98.4	0	178	60.4	60.4	60.4	120	120	3360
23.00	0	0	68	68	68	126	0	98.4	98.4	98.4	0	178	60.4	60.4	60.4	120	120	3345
24.00	0	0	68	68	68	126	0	98.4	98.4	98.4	0	178	60.4	60.4	60.4	120	120	3205

Sumber: Hasil Perhitungan

Tabel 4.17 Hasil Analisis Kombinasi Penjadwalan Pembangkit pada 6 Desember 2011

Jam	Pembangkit (MW)																				
	P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7	P8	P9	P10	P11	P12	P13	P14	P15	P16	P17	P18	P19	P20	P21
01.00	370	370	53	53	53	53	53	53	53	53	53	130.4	130.4	130.4	43	43	118.7	118.7	0	0	0
02.00	150.8	283	72.6	72.6	72.6	72.6	72.6	72.6	72.6	72.6	72.6	126.2	126.2	126.2	59.8	59.8	124	124	0	0	0
03.00	150.8	283	72.6	72.6	72.6	72.6	72.6	72.6	72.6	72.6	72.6	126.2	126.2	126.2	59.8	59.8	124	124	0	0	0
04.00	150.8	283	72.6	72.6	72.6	72.6	72.6	72.6	72.6	72.6	72.6	126.2	126.2	126.2	59.8	59.8	124	124	0	0	0
05.00	40.8	283	72.6	72.6	72.6	72.6	72.6	72.6	72.6	72.6	72.6	126.2	126.2	126.2	59.8	59.8	124	124	0	0	0
06.00	438.8	283	72.6	72.6	72.6	72.6	72.6	72.6	72.6	72.6	72.6	126.2	126.2	126.2	59.8	59.8	124	124	0	0	0
07.00	468.8	283	72.6	72.6	72.6	72.6	72.6	72.6	72.6	72.6	72.6	126.2	126.2	126.2	59.8	59.8	124	124	0	0	0
08.00	130.8	283	72.6	72.6	72.6	72.6	72.6	72.6	72.6	72.6	72.6	126.2	126.2	126.2	59.8	59.8	124	124	0	0	0
09.00	45.8	283	72.6	72.6	72.6	72.6	72.6	72.6	72.6	72.6	72.6	126.2	126.2	126.2	59.8	59.8	124	124	0	0	0
10.00	45.8	283	72.6	72.6	72.6	72.6	72.6	72.6	72.6	72.6	72.6	126.2	126.2	126.2	59.8	59.8	124	124	0	0	0
11.00	45.8	283	72.6	72.6	72.6	72.6	72.6	72.6	72.6	72.6	72.6	126.2	126.2	126.2	59.8	59.8	124	124	0	0	0
12.00	125.8	283	72.6	72.6	72.6	72.6	72.6	72.6	72.6	72.6	72.6	126.2	126.2	126.2	59.8	59.8	124	124	0	0	0
13.00	260.8	283	72.6	72.6	72.6	72.6	72.6	72.6	72.6	72.6	72.6	126.2	126.2	126.2	59.8	59.8	124	124	0	0	0
14.00	301.8	283	72.6	72.6	72.6	72.6	72.6	72.6	72.6	72.6	72.6	126.2	126.2	126.2	59.8	59.8	124	124	0	0	0
15.00	344.8	283	72.6	72.6	72.6	72.6	72.6	72.6	72.6	72.6	72.6	126.2	126.2	126.2	59.8	59.8	124	124	0	0	0
16.00	346.8	283	72.6	72.6	72.6	72.6	72.6	72.6	72.6	72.6	72.6	126.2	126.2	126.2	59.8	59.8	124	124	0	0	0
17.00	336.8	283	72.6	72.6	72.6	72.6	72.6	72.6	72.6	72.6	72.6	126.2	126.2	126.2	59.8	59.8	124	124	0	0	0
18.00	549.2	283	72.6	72.6	72.6	72.6	72.6	72.6	72.6	72.6	72.6	126.2	126.2	126.2	59.8	59.8	124	124	9.4	9.4	9.4
19.00	549.2	283	72.6	72.6	72.6	72.6	72.6	72.6	72.6	72.6	72.6	126.2	126.2	126.2	59.8	59.8	124	124	9.4	9.4	9.4
20.00	465.8	283	72.6	72.6	72.6	72.6	72.6	72.6	72.6	72.6	72.6	126.2	126.2	126.2	59.8	59.8	124	124	9.4	9.4	9.4
21.00	179.2	283	72.6	72.6	72.6	72.6	72.6	72.6	72.6	72.6	72.6	126.2	126.2	126.2	59.8	59.8	124	124	9.4	9.4	9.4
22.00	30.8	283	72.6	72.6	72.6	72.6	72.6	72.6	72.6	72.6	72.6	126.2	126.2	126.2	59.8	59.8	124	124	9.4	9.4	9.4
23.00	55.8	283	72.6	72.6	72.6	72.6	72.6	72.6	72.6	72.6	72.6	126.2	126.2	126.2	59.8	59.8	124	124	9.4	9.4	9.4
24.00	70.8	283	72.6	72.6	72.6	72.6	72.6	72.6	72.6	72.6	72.6	126.2	126.2	126.2	59.8	59.8	124	124	9.4	9.4	9.4

Jam	Pembangkit (MW)																	Beban Sistem (MW)
	P22	P23	P24	P25	P26	P27	P28	P29	P30	P31	P32	P33	P34	P35	P36	P37	P38	
01.00	0	0	50	50	50	120	0	0	0	0	0	201.8	0	0	0	109.7	109.7	3140
02.00	0	0	68	68	68	126	0	0	0	0	0	178	0	0	0	120	120	3000
03.00	0	0	68	68	68	126	0	0	0	0	0	178	0	0	0	120	120	3000
04.00	0	0	68	68	68	126	0	0	0	0	0	178	0	0	0	120	120	3000
05.00	0	0	68	68	68	126	0	0	0	0	0	178	0	0	0	120	120	3110
06.00	0	0	68	68	68	126	0	0	0	0	0	178	0	0	0	120	120	2712
07.00	0	0	68	68	68	126	0	0	0	0	0	178	0	0	0	120	120	2682
08.00	0	0	68	68	68	126	0	0	0	0	0	178	0	0	0	120	120	3020
09.00	0	0	68	68	68	126	0	0	0	0	0	178	0	0	0	120	120	3105
10.00	0	0	68	68	68	126	0	0	0	0	0	178	0	0	0	120	120	3105
11.00	0	0	68	68	68	126	0	0	0	0	0	178	0	0	0	120	120	3105
12.00	0	0	68	68	68	126	0	0	0	0	0	178	0	0	0	120	120	3025
13.00	0	0	68	68	68	126	0	0	0	0	0	178	0	0	0	120	120	2890
14.00	0	0	68	68	68	126	0	0	0	0	0	178	0	0	0	120	120	2849
15.00	0	0	68	68	68	126	0	0	0	0	0	178	0	0	0	120	120	2806
16.00	0	0	68	68	68	126	0	0	0	0	0	178	0	0	0	120	120	2804
17.00	0	0	68	68	68	126	0	0	0	0	0	178	0	0	0	120	120	2814
18.00	0	0	68	68	68	126	0	98.4	98.4	0	0	178	60.4	60.4	60.4	120	120	3700
19.00	0	0	68	68	68	126	0	98.4	98.4	0	0	178	60.4	60.4	60.4	120	120	3700
20.00	0	0	68	68	68	126	0	98.4	98.4	0	0	178	60.4	60.4	60.4	120	120	2685
21.00	0	0	68	68	68	126	0	98.4	98.4	0	0	178	60.4	60.4	60.4	120	120	3330
22.00	0	0	68	68	68	126	0	98.4	98.4	0	0	178	60.4	60.4	60.4	120	120	3120
23.00	0	0	68	68	68	126	0	98.4	98.4	0	0	178	60.4	60.4	60.4	120	120	3095
24.00	0	0	68	68	68	126	0	98.4	98.4	0	0	178	60.4	60.4	60.4	120	120	3080

Sumber: Hasil Perhitungan

Tabel 4.18 Hasil Analisis Kombinasi Penjadwalan Pembangkit pada 7 Desember 2011

Jam	Pembangkit (MW)																				
	P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7	P8	P9	P10	P11	P12	P13	P14	P15	P16	P17	P18	P19	P20	P21
01.00	370	289.3	0	53	53	53	0	53	53	53	53	122.7	122.7	122.7	43	43	101.1	101.1	0	0	0
02.00	290.8	283	0	72.6	72.6	72.6	0	72.6	72.6	72.6	72.6	126.2	126.2	126.2	59.8	59.8	124	124	0	0	0
03.00	290.8	283	0	72.6	72.6	72.6	0	72.6	72.6	72.6	72.6	126.2	126.2	126.2	59.8	59.8	124	124	0	0	0
04.00	290.8	283	0	72.6	72.6	72.6	0	72.6	72.6	72.6	72.6	126.2	126.2	126.2	59.8	59.8	124	124	0	0	0
05.00	281.8	283	0	72.6	72.6	72.6	0	72.6	72.6	72.6	72.6	126.2	126.2	126.2	59.8	59.8	124	124	0	0	0
06.00	281.8	283	0	72.6	0	72.6	0	72.6	72.6	72.6	72.6	0	0	126.2	59.8	59.8	124	124	0	0	0
07.00	510.8	283	0	72.6	0	72.6	0	72.6	72.6	72.6	72.6	0	0	126.2	59.8	59.8	124	124	0	0	0
08.00	700.8	283	0	72.6	0	72.6	0	72.6	72.6	72.6	72.6	0	0	126.2	59.8	59.8	124	124	0	0	0
09.00	630.8	283	0	72.6	0	72.6	0	72.6	72.6	72.6	72.6	0	0	126.2	59.8	59.8	124	124	0	0	0
10.00	530.8	283	0	72.6	0	72.6	0	72.6	72.6	72.6	72.6	0	0	126.2	59.8	59.8	124	124	0	0	0
11.00	530.8	283	0	72.6	0	72.6	0	72.6	72.6	72.6	72.6	0	0	126.2	59.8	59.8	124	124	0	0	0
12.00	580.8	283	0	72.6	0	72.6	0	72.6	72.6	72.6	72.6	0	0	126.2	59.8	59.8	124	124	0	0	0
13.00	580.8	283	0	72.6	0	72.6	0	72.6	72.6	72.6	72.6	0	0	126.2	59.8	59.8	124	124	0	0	0
14.00	605.8	283	0	72.6	0	72.6	0	72.6	72.6	72.6	72.6	0	0	126.2	59.8	59.8	124	124	0	0	0
15.00	563.8	283	0	72.6	0	72.6	0	72.6	72.6	72.6	72.6	0	0	126.2	59.8	59.8	124	124	0	0	0
16.00	563.8	283	0	72.6	0	72.6	0	72.6	72.6	72.6	72.6	0	0	126.2	59.8	59.8	124	124	0	0	0
17.00	360.8	283	72.6	72.6	72.6	72.6	72.6	72.6	72.6	72.6	72.6	126.2	126.2	126.2	59.8	59.8	124	124	9.4	9.4	9.4
18.00	534.2	283	72.6	72.6	72.6	72.6	72.6	72.6	72.6	72.6	72.6	126.2	126.2	126.2	59.8	59.8	124	124	9.4	9.4	9.4
19.00	534.2	283	72.6	72.6	72.6	72.6	72.6	72.6	72.6	72.6	72.6	126.2	126.2	126.2	59.8	59.8	124	124	9.4	9.4	9.4
20.00	534.2	283	72.6	72.6	72.6	72.6	72.6	72.6	72.6	72.6	72.6	126.2	126.2	126.2	59.8	59.8	124	124	9.4	9.4	9.4
21.00	219.2	283	72.6	72.6	72.6	72.6	72.6	72.6	72.6	72.6	72.6	126.2	126.2	126.2	59.8	59.8	124	124	9.4	9.4	9.4
22.00	69.2	283	72.6	72.6	72.6	72.6	72.6	72.6	72.6	72.6	72.6	126.2	126.2	126.2	59.8	59.8	124	124	9.4	9.4	9.4
23.00	44.2	283	72.6	72.6	72.6	72.6	72.6	72.6	72.6	72.6	72.6	126.2	126.2	126.2	59.8	59.8	124	124	9.4	9.4	9.4
24.00	100.8	283	72.6	72.6	72.6	72.6	72.6	72.6	72.6	72.6	72.6	126.2	126.2	126.2	59.8	59.8	124	124	9.4	9.4	9.4

Jam	Pembangkit (MW)																	Beban Sistem (MW)
	P22	P23	P24	P25	P26	P27	P28	P29	P30	P31	P32	P33	P34	P35	P36	P37	P38	
01.00	0	0	50	50	50	115.8	0	0	0	0	0	187.5	0	0	0	96.4	96.4	2956
02.00	0	0	68	68	68	126	0	0	0	0	0	178	0	0	0	120	120	2860
03.00	0	0	68	68	68	126	0	0	0	0	0	178	0	0	0	120	120	2860
04.00	0	0	68	68	68	126	0	0	0	0	0	178	0	0	0	120	120	2860
05.00	0	0	68	68	68	126	0	0	0	0	0	178	0	0	0	120	120	2869
06.00	0	0	68	68	68	126	0	0	0	0	0	178	0	0	0	120	120	2869
07.00	0	0	68	68	68	126	0	0	0	0	0	178	0	0	0	120	120	2640
08.00	0	0	68	68	68	126	0	0	0	0	0	178	0	0	0	120	120	2450
09.00	0	0	68	68	68	126	0	0	0	0	0	178	0	0	0	120	120	2520
10.00	0	0	68	68	68	126	0	0	0	0	0	178	0	0	0	120	120	2620
11.00	0	0	68	68	68	126	0	0	0	0	0	178	0	0	0	120	120	2620
12.00	0	0	68	68	68	126	0	0	0	0	0	178	0	0	0	120	120	2570
13.00	0	0	68	68	68	126	0	0	0	0	0	178	0	0	0	120	120	2570
14.00	0	0	68	68	68	126	0	0	0	0	0	178	0	0	0	120	120	2545
15.00	0	0	68	68	68	126	0	0	0	0	0	178	0	0	0	120	120	2587
16.00	0	0	68	68	68	126	0	0	0	0	0	178	0	0	0	120	120	2587
17.00	0	0	0	0	68	126	0	98.4	98.4	0	0	178	60.4	60.4	60.4	120	120	2790
18.00	0	0	0	0	68	126	0	98.4	98.4	0	0	178	60.4	60.4	60.4	120	120	3685
19.00	0	0	0	0	68	126	0	98.4	98.4	0	0	178	60.4	60.4	60.4	120	120	3685
20.00	0	0	0	0	68	126	0	98.4	98.4	0	0	178	60.4	60.4	60.4	120	120	3685
21.00	0	0	0	0	68	126	0	98.4	98.4	0	0	178	60.4	60.4	60.4	120	120	3370
22.00	0	0	0	0	68	126	0	98.4	98.4	0	0	178	60.4	60.4	60.4	120	120	3220
23.00	0	0	0	0	68	126	0	98.4	98.4	0	0	178	60.4	60.4	60.4	120	120	3195
24.00	0	0	0	0	68	126	0	98.4	98.4	0	0	178	60.4	60.4	60.4	120	120	3050

Sumber: Hasil Perhitungan

Hasil simulasi pembagian daya pembangkitan dari setiap unit pembangkit pada tabel 4.16, 4.17 dan 4.18 menunjukkan bahwa batasan keseimbangan daya (*equality constrains*) terpenuhi, dimana total daya yang dihasilkan oleh pembangkit (P_{Gi}) dikurangi dengan rugi-rugi saluran (P_L) sama dengan total beban sistem (P_R) atau dengan kata lain bahwa total daya yang dibangkitkan (P_{Gi}) sama dengan total beban sistem (P_R) ditambah dengan rugi-rugi saluran (P_L). Daya yang dibangkitkan tiap unit pembangkit sudah sesuai dengan kemampuan tiap unit pembangkitnya (*inequality constrains*) dimana dalam proses evaluasi terdapat batasan daya maksimum dan minimum setiap unit pembangkit.

4.5 Beban Sistem 500 kV Jawa-Bali pada 19 April 2011

Berikut adalah beban sistem yang ditanggung oleh pembangkit termal yang berada di wilayah Jawa-Bali dengan Sistem 500 kV Jawa-Bali.

Tabel 4.19 Data Beban Sistem 500 kV Jawa-Bali

Jam	19 April 2011	
	Beban Sistem	Cadangan Berputar
	(MW)	
01.00	8350	400
02.00	8179	400
03.00	8138	400
04.00	8138	400
05.00	8304	400
06.00	8218	400
07.00	8138	400
08.00	9256	400
09.00	9237	400
10.00	9337	400
11.00	9320	400
12.00	9318	400
13.00	10361	400
14.00	10454	400
15.00	10401	400
16.00	10401	400
17.00	10454	400
18.00	11292	400
19.00	11301	400
20.00	10734	400
21.00	10454	400
22.00	8885	400
23.00	7997	400
24.00	7196	400

Sumber: Syah K. (2010)

4.5.1 Analisis Penjadwalan Pembangkit Termal Sistem 500 kV Jawa-Bali

Penjadwalan setiap unit pembangkit dapat dilakukan setelah melakukan perhitungan. Kombinasi setiap unit akan dapat dilihat setelah dilakukan analisis dengan metode *Firefly Algorithm* sesuai dengan simulasi yang dilakukan dengan aplikasi *Matlab*. Setelah proses perhitungan dengan *Matlab* dilakukan maka didapat total biaya dari setiap jamnya. Namun biaya dalam setiap jam tidak sama karena beban setiap jam selalu berubah-ubah. Setelah mendapatkan hasil optimal dari perhitungan, selanjutnya dilakukan kombinasi penjadwalan mengenai pembangkit mana saja yang dinyalakan atau dimatikan sesuai dengan perhitungan.

Tabel 4.20 Tabel Total Biaya pada 19 April 2011 menggunakan metode *FA*

Jam	Kamis	
	Beban Sistem	Total Biaya
	(MW)	(Rupiah)
01.00	8350	786.393.490
02.00	8179	665.197.734
03.00	8138	722.243.833
04.00	8138	722.243.833
05.00	8304	716.865.818
06.00	8128	719.550.706
07.00	8138	722.243.833
08.00	9256	674.773.405
09.00	9237	686.064.824
10.00	9337	682.583.447
11.00	9320	683.355.789
12.00	9318	820.072.561
13.00	10361	787.161.223
14.00	10454	784.574.181
15.00	10401	545.947.697
16.00	10401	545.947.697
17.00	10454	636.603.336
18.00	11292	834.931.718
19.00	11301	680.760.607
20.00	10734	697.810.771
21.00	10454	706.368.633
22.00	8885	761.709.705
23.00	7997	796.389.944
24.00	7196	984.782.905
Total	223.773	17.364.577.690

Tabel di atas menunjukkan total biaya pembangkitan dengan menggunakan metode *Firefly Algorithm* yang digunakan untuk menyuplai daya pada 19 April 2011. Total daya selama 24 jam adalah 223.773 MW. Pada tabel di atas terlihat bahwa dengan menggunakan metode *Firefly Algorithm* selama 24 jam menghasilkan biaya Rp. 17.364.577.690,-.

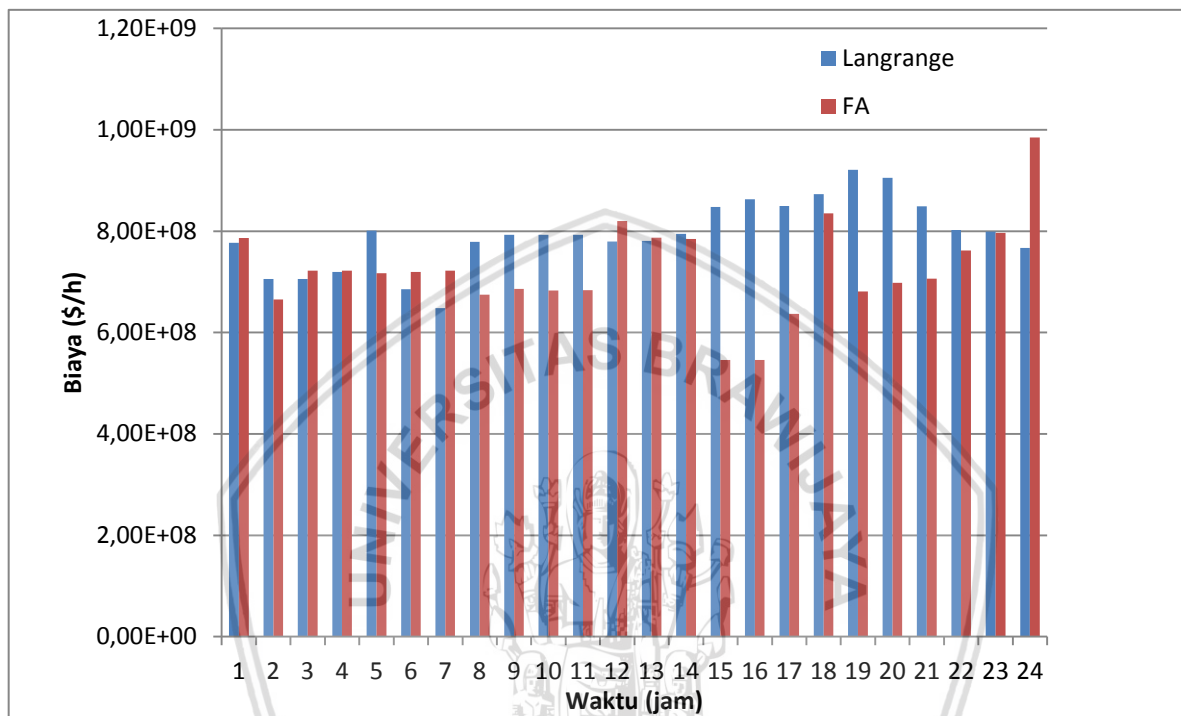
4.5.2. Analisis Perbandingan Metode *Firefly Algorithm* dengan Metode *Lagrange*

Setelah didapatkan perhitungan yang dapat kita lihat pada tabel 4.20 maka akan dibandingkan dengan perhitungan metode *Lagrange*. Untuk perhitungan dengan metode *Lagrange* didapatkan dari penelitian sebelumnya. Berikut adalah tabel perbandingan setiap jamnya.

Tabel 4.21 Perbandingan Metode *FA* dan *Langrange* pada hari Kamis

Jam	Kamis	
	<i>Lagrange</i> (Rp)	<i>FA</i> (Rp)
01.00	776.761.138	786.393.490
02.00	705.621.586	665.197.734
03.00	705.621.586	722.243.833
04.00	719.392.000	722.243.833
05.00	801.061.977	716.865.818
06.00	685.123.630	719.550.706
07.00	648.335.634	722.243.833
08.00	778.544.533	674.773.405
09.00	792.479.469	686.064.824
10.00	792.479.469	682.583.447
11.00	792.479.469	683.355.789
12.00	779.497.649	820.072.561
13.00	780.598.672	787.161.223
14.00	794.364.084	784.574.181
15.00	847.649.083	545.947.697
16.00	863.101.025	545.947.697
17.00	849.444.762	636.603.336
18.00	873.033.012	834.931.718
19.00	920.727.099	680.760.607
20.00	905.112.311	697.810.771
21.00	848.997.762	706.368.633
22.00	802.277.589	761.709.705
23.00	798.842.450	796.389.944
24.00	767.137.625	984.782.905
Total	19.028.683.614	17.364.577.690

Dari tabel diatas didapatkan total perbandingan biaya operasional selama 24 jam dari kedua metode tersebut. Setelah dilakukan analisis diperoleh total biaya pada hari Kamis 19 April 2011 adalah sebesar Rp. 17.364.577.690,-. Metode *Firefly Algorithm* memiliki total biaya rendah dibandingkan dengan Metode *Langrange*.



Gambar 4.12 Grafik perbandingan metode FA dan Lagrange hari Kamis

Pada gambar 4.12 di atas menunjukkan grafik total biaya pembangkitan selama 24 jam menggunakan metode *Firefly Algortihm* dibandingkan dengan metode *Langrage* dengan biaya yang selalu berubah-ubah terhadap waktu (jam).

Tabel 4.22 Hasil Analisis Kombinasi Penjadwalan Pembangkit pada 19 April 2011

Jam	Pembangkit (MW)																	
	P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7	P8	P9	P10	P11	P12	P13	P14	P15	P16	P17	P18
01.00	370	370	102	102	102	102	102	102	102	102	102	143	143	143	85	85	175	175
02.00	5028,2	283	72,6	72,6	72,6	72,6	72,6	72,6	72,6	72,6	72,6	126,2	126,2	126,2	59,8	59,8	124	124
03.00	4987,2	283	72,6	72,6	72,6	72,6	72,6	72,6	72,6	72,6	72,6	126,2	126,2	126,2	59,8	59,8	124	124
04.00	4987,2	283	72,6	72,6	72,6	72,6	72,6	72,6	72,6	72,6	72,6	126,2	126,2	126,2	59,8	59,8	124	124
05.00	5153,2	283	72,6	72,6	72,6	72,6	72,6	72,6	72,6	72,6	72,6	126,2	126,2	126,2	59,8	59,8	124	124
06.00	4977,2	283	72,6	72,6	72,6	72,6	72,6	72,6	72,6	72,6	72,6	126,2	126,2	126,2	59,8	59,8	124	124
07.00	4987,2	283	72,6	72,6	72,6	72,6	72,6	72,6	72,6	72,6	72,6	126,2	126,2	126,2	59,8	59,8	124	124
08.00	6105,2	283	72,6	72,6	72,6	72,6	72,6	72,6	72,6	72,6	72,6	126,2	126,2	126,2	59,8	59,8	124	124
09.00	6086,2	283	72,6	72,6	72,6	72,6	72,6	72,6	72,6	72,6	72,6	126,2	126,2	126,2	59,8	59,8	124	124
10.00	6186,2	283	72,6	72,6	72,6	72,6	72,6	72,6	72,6	72,6	72,6	126,2	126,2	126,2	59,8	59,8	124	124
11.00	6169,2	283	72,6	72,6	72,6	72,6	72,6	72,6	72,6	72,6	72,6	126,2	126,2	126,2	59,8	59,8	124	124
12.00	6167,2	283	72,6	72,6	72,6	72,6	72,6	72,6	72,6	72,6	72,6	126,2	126,2	126,2	59,8	59,8	124	124
13.00	7210,2	283	72,6	72,6	72,6	72,6	72,6	72,6	72,6	72,6	72,6	126,2	126,2	126,2	59,8	59,8	124	124
14.00	7303,2	283	72,6	72,6	72,6	72,6	72,6	72,6	72,6	72,6	72,6	126,2	126,2	126,2	59,8	59,8	124	124
15.00	7250,2	283	72,6	72,6	72,6	72,6	72,6	72,6	72,6	72,6	72,6	126,2	126,2	126,2	59,8	59,8	124	124
16.00	7250,2	283	72,6	72,6	72,6	72,6	72,6	72,6	72,6	72,6	72,6	126,2	126,2	126,2	59,8	59,8	124	124
17.00	7303,2	283	72,6	72,6	72,6	72,6	72,6	72,6	72,6	72,6	72,6	126,2	126,2	126,2	59,8	59,8	124	124
18.00	8141,2	283	72,6	72,6	72,6	72,6	72,6	72,6	72,6	72,6	72,6	126,2	126,2	126,2	59,8	59,8	124	124
19.00	8150,2	283	72,6	72,6	72,6	72,6	72,6	72,6	72,6	72,6	72,6	126,2	126,2	126,2	59,8	59,8	124	124
20.00	7583,2	283	72,6	72,6	72,6	72,6	72,6	72,6	72,6	72,6	72,6	126,2	126,2	126,2	59,8	59,8	124	124
21.00	7303,2	283	72,6	72,6	72,6	72,6	72,6	72,6	72,6	72,6	72,6	126,2	126,2	126,2	59,8	59,8	124	124
22.00	5734,2	283	72,6	72,6	72,6	72,6	72,6	72,6	72,6	72,6	72,6	126,2	126,2	126,2	59,8	59,8	124	124
23.00	4846,2	283	72,6	72,6	72,6	72,6	72,6	72,6	72,6	72,6	72,6	126,2	126,2	126,2	59,8	59,8	124	124
24.00	4045,2	283	72,6	72,6	72,6	72,6	72,6	72,6	72,6	72,6	72,6	126,2	126,2	126,2	59,8	59,8	124	124

Jam	Pembangkit (MW)																			Beban Sistem (MW)	
	P19	P20	P21	P22	P23	P24	P25	P26	P27	P28	P29	P30	P31	P32	P33	P34	P35	P36	P37		P38
01.00	0	0	0	0	0	95	95	95	150	0	0	0	0	0	202	0	0	0	165	165	8350
02.00	0	0	0	0	0	68	68	68	126	0	0	0	0	0	178	0	0	0	120	120	8179
03.00	0	0	0	0	0	68	68	68	126	0	0	0	0	0	178	0	0	0	120	120	8138
04.00	0	0	0	0	0	68	68	68	126	0	0	0	0	0	178	0	0	0	120	120	8138
05.00	0	0	0	0	0	68	68	68	126	0	0	0	0	0	178	0	0	0	120	120	8304
06.00	0	0	0	0	0	68	68	68	126	0	0	0	0	0	178	0	0	0	120	120	8128
07.00	0	0	0	0	0	68	68	68	126	0	0	0	0	0	178	0	0	0	120	120	8138
08.00	0	0	0	0	0	68	68	68	126	0	0	0	0	0	178	0	0	0	120	120	9256
09.00	0	0	0	0	0	68	68	68	126	0	0	0	0	0	178	0	0	0	120	120	9237
10.00	0	0	0	0	0	68	68	68	126	0	0	0	0	0	178	0	0	0	120	120	9337
11.00	0	0	0	0	0	68	68	68	126	0	0	0	0	0	178	0	0	0	120	120	9320
12.00	0	0	0	0	0	68	68	68	126	0	0	0	0	0	178	0	0	0	120	120	9318
13.00	0	0	0	0	0	68	68	68	126	0	0	0	0	0	178	0	0	0	120	120	10361
14.00	0	0	0	0	0	68	68	68	126	0	0	0	0	0	178	0	0	0	120	120	10454
15.00	0	0	0	0	0	68	68	68	126	0	0	0	0	0	178	0	0	0	120	120	10401
16.00	0	0	0	0	0	68	68	68	126	0	0	0	0	0	178	0	0	0	120	120	10401
17.00	0	0	0	0	0	68	68	68	126	0	0	0	0	0	178	0	0	0	120	120	10454
18.00	9,4	9,4	9,4	0	0	68	68	68	126	0	98,4	98,4	0	0	178	60,4	60,4	60,4	120	120	11292
19.00	9,4	9,4	9,4	0	0	68	68	68	126	0	98,4	98,4	0	0	178	60,4	60,4	60,4	120	120	11301
20.00	9,4	9,4	9,4	0	0	68	68	68	126	0	98,4	98,4	0	0	178	60,4	60,4	60,4	120	120	10734
21.00	9,4	9,4	9,4	0	0	68	68	68	126	0	98,4	98,4	0	0	178	60,4	60,4	60,4	120	120	10454
22.00	9,4	9,4	9,4	0	0	68	68	68	126	0	98,4	98,4	0	0	178	60,4	60,4	60,4	120	120	8885
23.00	9,4	9,4	9,4	0	0	68	68	68	126	0	98,4	98,4	0	0	178	60,4	60,4	60,4	120	120	7997
24.00	9,4	9,4	9,4	0	0	68	68	68	126	0	98,4	98,4	0	0	178	60,4	60,4	60,4	120	120	7196

Hasil simulasi pembagian daya pembangkitan dari setiap unit pembangkit pada tabel 4.22 menunjukkan bahwa batasan keseimbangan daya (*equality constrains*) terpenuhi, dimana total daya yang dihasilkan oleh pembangkit (P_{Gi}) dikurangi dengan rugi-rugi saluran (P_L) sama dengan total beban sistem (P_R) atau dengan kata lain bahwa total daya yang dibangkitkan (P_{Gi}) sama dengan total beban sistem (P_R) ditambah dengan rugi-rugi saluran (P_L). Daya yang dibangkitkan tiap unit pembangkit sudah sesuai dengan kemampuan tiap unit pembangkitnya (*inequality constrains*) dimana dalam proses evaluasi terdapat batasan daya maksimum dan minimum setiap unit pembangkit.



BAB V

PENUTUP

5.1 Kesimpulan

Dari hasil analisis program dan perhitungan *economic dispatch* pembangkit dengan metode *Firefly Algorithm* untuk sistem kelistrikan 500 kV Jawa-Bali menghasilkan kesimpulan sebagai berikut:

1. Penggunaan metode *Firefly Algorithm* pada *economic dispatch* sistem 500 kV Jawa-Bali adalah dengan membuat pembagian pembangkit dan dicari kombinasi terbaik dalam proses evaluasi metode *Firefly Algorithm*. Proses evaluasi dalam metode *Firefly Algorithm* harus ditentukan nilai oleh nilai parameter *Firefly Algorithm*, dan *Gbest*. Proses evaluasi akan berhenti jika biaya pada pembagian daya sudah konvergen atau nilainya saling dekat. Pada penelitian kali ini proses evaluasi sebanyak 50 iterasi untuk jaringan Bus 30 dan 500 iterasi untuk jaringan Jawa Bali 500 kV.
2. Total biaya operasional pada sistem kelistrikan 500 kV Jawa-Bali dengan beban harian per jam berdasarkan data yang diperoleh dari Sunaryatiningsih (2016) menggunakan metode *Firefly Algorithm* sebesar Rp. 16.979254.759,- pada hari Kamis 4 Desember 2011, Rp. 15.459.428.926,- pada hari Sabtu 6 Desember 2011 dan Rp. 14.505.474.175 pada hari Minggu 7 Desember 2011. Total biaya penghematan operasional unit pembangkit menggunakan metode *Firefly Algoritihm* hari Kamis, Sabtu dan Minggu berturut-turut dibandingkan dengan metode *Langrange* adalah Rp. 2.499.548.438,-, Rp. 1.884.172.621,-, dan Rp. 2.099.755.016,-. Dimana dari beban harian yang didapatkan dengan menggunakan metode *Firefly Algorithm* lebih efisien dibandingkan dengan metode *Langrage*. Dari hasil analisis didapatkan metode *Firefly Algorithm* dapat memperkecil biaya pembangkitan, sehingga metode ini cukup optimal untuk mengoptimalkan biaya pembangkitan

5.2 Saran

Dari hasil analisis yang telah dilakukan, masih perlu dilaksanakan penelitian lebih lanjut dengan menambahkan parameter lain seperti mempertimbangkan optimasi rugi-rugi daya dan parameter-parameter lainnya. Menganalisis dengan metode lain perlu dilakukan agar dapat membandingkan metode manakah yang lebih efisien.



DAFTAR PUSTAKA

- Abri, K. (2016). *Optimasi Pembebanan Pembangkit Menggunakan Random Drift Particle Swarm Optimization (RDPSO) Pada Sistem Interkoneksi Jawa Bali 500 kV*. Surabaya: Tugas Akhir, ITS.
- Adrianti. (2010). *Penjadwalan Ekonomis Pembangkit Thermal dengan Memperhitungkan Rugi Rugi Saluran Transmisi Menggunakan Metode Algoritma Genetik..* Tesis tidak diterbitkan. Padang: Jurusan Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Andalas.
- Alsac, O. & Stott, B. (1974). *Optimal Load Flow with Steady State Security*. Manchester: IEEE Transaction On Power Apparatus and System.
- B. H. Chowdhury & S. Rahman. (1990). *A review of recent advances in economic dispatch. IEEE Trans Power Syst.* Vol. 5, no. 4, pp. 1248–1259.
- Daniyal, H., Sulaiman, Herwan., & Mustafa, W. (2012). *Modified Firefly Algorithm in Solving Dispatch Problems with Practical Constraints. IEEE International Confrence in Power Energy.* pp. 143-147.
- Dekhici, L., Belkadi, K., & Borne, P. (2012). *Firefly Algorithm for Economic Power Dispatching With Pollutants Emission. Informatica Economica.* Vol. 16, no.2, pp. 45-57.
- Joko, P., Montario, C. B., & Zamrudi. (2010). *Transmission of Electrical Energy. Makalah Teknik Tenaga Listrik,* pp. 1-3.
- Nadjamuddin, H. (2011). *Bahan Ajar Perancangan Pembangkitan Tenaga Listrik.* Makassar: Universitas Hasanuddin.
- Panigrahi, P., Mishra, S., Pani, R., S. (2015). *Implementation of Firefly Algorithm on Economic Load Dispatch. International Journal of Engineering Research & Technology (IJERT).* Vol. 4, pp. 376-380.
- Penangsang, O. (2011). *Pengoperasian Optimum Sistem Tenaga Listrik.* Surabaya: Institut Teknologi Surabaya.
- Saadat, H. (2004). *Power System Analysis.* Singapore : The McGraw-Hill Book Co, Inc.

- Subramanian, R., & Thanuskodi K. (2013). *An Efficient Firefly Algorithm to Solve Economic Dispatch Problems*. Vol. 2, pp. 52-55.
- Suripto, Slamet. (2011). *Buku Ajar Sistem Tenaga Listrik*. Universitas Muhammadiyah Yogyakarta, Yogyakarta.
- Sunaryatiningsih, Ina. (2016). *Unit Commitment Pembangkit Thermal Menggunakan Hybrid Metode Evolutionary Programming dan Lagrange Relaxation pada Sistem 500 KV Jawa-Bali*. Jurusan Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Brawijaya.
- Syah, Kharudin. (2010). *Analisis Perbandingan Economic Dispatch Pembangkit Menggunakan Metode Langrange dan Constriction Factor Particle Swarm Optimization (CFPSO)*. Jurusan Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Brawijaya.
- Wood, A. J., & Wollenberg, B. F. (1996). *Power Generation, Operation and Control (2th ed.)*. New York: A Willey-Interscience Publication.
- Xin, S. Yang. (2009). *Firefly Algoritihm for Multimodal Optimization in: Stochastic Algoritihms, Foundations and Aplications*. London: SAGA Lecture Notes in Computer Sciences. Vol. 5792, pp. 169-178.
- Xin, S. Yang. (2014). *Cuckoo Search and Firefly Algorithm : Theory and Applications*. London: Springer.