



ITS
Institut
Teknologi
Sepuluh Nopember

TUGAS AKHIR -TE 141599

**OPTIMASI PEMBEBANAN PEMBANGKIT
MENGUNAKAN RANDOM DRIFT PARTICLE SWARM
OPTIMIZATION (RDPSO) PADA SISTEM INTERKONEKSI
JAWA - BALI 500 kV**

Khalid Abri
NRP 2212100106

Dosen Pembimbing
Prof. Dr. Ir. AdiSoeprijanto, MT.
Ir. Ni KetutAryani, MT.

JURUSAN TEKNIK ELEKTRO
Fakultas Teknologi Industri
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya 2016



FINAL PROJECT -TE 141599

**POWER SYSTEM ECONOMIC DISPATCH BASED ON
RANDOMDRIFT PARTICLE SWARM OPTIMIZATION
(RDPSO) IN JAWA - BALI 500 kV INTERCONNECTION
SYSTEM**

**Khalid Abri
NRP 2212100106**

**Advisor
Prof. Dr. Ir. AdiSoeprijanto, MT.
Ir. Ni KetutAryani, MT.**

**ELECTRICAL ENGINEERING DEPARTMENT
Faculty of Industrial Technology
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya 2016**

**OPTIMASI PEMBEBANAN PEMBANGKIT
MENGUNAKAN RANDOM DRIFT PARTICLE
SWARM OPTIMIZATION (RDPSO) PADA
SISTEM INTERKONEKSI JAWA – BALI 500 Kv**

TUGAS AKHIR

**Diajukan Guna Memenuhi Sebagian Persyaratan
Untuk Memperoleh Gelar Sarjana Teknik**

Pada

**Bidang Studi Teknik Sistem Tenaga
Jurusan Teknik Elektro**

Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Menyetujui :

Dosen Pembimbing I

Dosen Pembimbing II

Prof. Dr. Ir. Adi Soeprijanto, M.T.
NIP. 196404051990021001

Ir. Ni Ketut Aryani, M.T.
NIP. 196509011991032002

**SURABAYA
JUNI, 2016**

**JURUSAN
TEKNIK ELEKTRO**

Optimasi Pembebanan Pembangkit Menggunakan *Random Drift Particle Swarm Optimization (RDPSO)* Pada Sistem Interkoneksi Jawa – Bali 500 kV

Khalid Abri
2212100106

Dosen Pembimbing I : Prof. Dr. Ir. Adi Soeprijanto, MT.
Dosen Pembimbing II : Ir. Ni Ketut Aryani, MT.

Abstrak:

Optimasi pembebanan pembangkit adalah sebuah upaya untuk merumuskan kombinasi daya output beberapa generator secara optimal. Tujuan utamanya adalah untuk meminimalisir biaya bahan bakar dari generator yang beroperasi. Pada tugas akhir ini, optimasi dilakukan dengan metode *Random Drift Particle Swarm Optimization (RDPSO)*. RDPSO adalah metode yang terinspirasi oleh pergerakan elektron pada suatu konduktor metal yang berada di area bermedan listrik. Metode ini menghasilkan evolusi dalam sebuah set algoritma untuk penyelesaian fungsi non-linear. RDPSO digunakan untuk menemukan daya output yang optimum dari generator sistem interkoneksi Jawa – Bali 500 kV yang sedang beroperasi memenuhi beban pelanggan pada 19 Februari 2016. Hasilnya, RDPSO mampu menghemat biaya bahan bakar sekitar 0,65% dari total biaya realisasi PLN. Disamping itu, RDPSO mampu menemukan titik yang lebih optimum secara cepat jika dibandingkan dengan metode *Particle Swarm Optimization (PSO)*.

Kata kunci: *Optimasi pembebanan pembangkit, Random Drift Particle Swarm Optimization, Sistem Interkoneksi Jawa – Bali 500 kV*

Power System Economic Dispatch Based on Random Drift Particle Swarm Optimization (RDPSO) In Jawa – Bali 500 kV Interconnection System

Khalid Abri
2212100106

Supervisor I : Prof. Dr. Ir. Adi Soeprijanto, MT.
Supervisor II : Ir. Ni Ketut Aryani, MT.

Abstract:

Power System Economic Dispatch is an effective way to formulate combination of the power output in several generator optimally. The main purpose is to minimize the fuel cost which is generator operated. In this final assignment, the optimization process was done by *Random Drift Particle Swarm Optimization* (RDPSO) method. RDPSO is a method which is inspired by free electron model in a metal conductor which is placed in an area influenced by electric field. RDPSO propose an evolution in a set of equation of non-linear function algorithm. In this paper, RDPSO is used to solve the economic dispatch problem of several generator output in Jawa – Bali 500 kV interconnection system which is used to fulfill a demand on 19 Februari 2016. As a result, RDPSO can minimize 0.65% generator's fuel cost than PLN did. In addition, RDPSO can find an optimum value of the system in better and fast condition than PSO did.

Keyword: *Power system economic dispatch, Random Drift Particle Swarm Optimization, Jawa – Bali 500 kV Interconnection System*

Daftar Isi

ABSTRAK	i
ABSTRACT	iii
KATA PENGANTAR	v
DAFTAR GAMBAR	ix
DAFTAR TABEL	xi
BAB 1 PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Rumusan Masalah.....	2
1.3 Tujuan Penulisan.....	3
1.4 Batasan Masalah.....	3
1.5 Metodologi Penelitian.....	3
1.6 Sistematika Penulisan.....	5
1.7 Relevansi.....	6
BAB 2 ECONOMIC DISPATCH	7
2.1 Economic Dispatch.....	7
2.1.1 Karakteristik Pembangkit Termal.....	8
2.1.2 Karakteristik Pembangkit Hidro.....	9
2.1.3 Persamaan Matematis <i>Economic Dispatch</i> (ED).....	10
2.2 Particle Swarm Optimization.....	11
2.3 Random Drift Particle Swarm Optimization.....	12
2.4 Load Flow.....	13
2.4.1 Metode Gauss Seidel.....	14
2.4.2 Metode Newton Raphson.....	16

BAB 3 PEMODELAN SISTEM DAN PENERAPAN METODE RDPSO	17
3.1 Sistem Interkoneksi Jawa – Bali 500 kV.....	17
3.2 Pemodelan Pembangkit.....	20
3.2.1 Pemodelan Pembangkit Termal.....	20
3.2.2 Pemodelan Pembangkit Hidro.....	26
3.3 Penerapan Random Drift Particle Swarm Optimization.....	26
3.5 Realisasi PLN.....	30
BAB 4 HASIL SIMULASI DAN ANALISIS	31
4.1 Simulasi Pertama.....	31
4.1.1 Simulasi Pertama Metode PSO.....	31
4.1.2 Simulasi Pertama RDPSO.....	32
4.1.3 Analisis dan Perbandingan.....	32
4.1.4 Analisa Kesesuaian Terhadap Kapasitas Transmisi.....	35
4.2 Simulasi Kedua.....	37
4.2.1 Simulasi Kedua PSO.....	37
4.2.2 Simulasi Kedua RDPSO.....	38
4.2.3 Analisis dan Perbandingan.....	38
4.2.4 Analisa Kesesuaian Terhadap Kapasitas Transmisi.....	41
BAB 5 PENUTUP	45
5.1 Kesimpulan.....	45
5.2 Saran.....	45
Daftar Pustaka	47
Biografi Penulis	49

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Konsep pembangkit termal.....	7
Gambar 2.2 Sejumlah pembangkit thermal mensuplai beban melalui jaringan transmisi dengan rugi - rugi.....	7
Gambar 2.3 Karakteristik input – output pembangkit termal.....	8
Gambar 2.4 Kurva input – output pembangkit hidro.....	9
Gambar 3.1 Single Line Diagram Jawa Bali 500 kV.....	17
Gambar 3.2 Flowchart Penerapan RDPSO.....	27
Gambar 4.1 Grafik Konvergensi Simulasi Pertama PSO.....	34
Gambar 4.2 Grafik Konvergensi Simulasi Pertama RDPSO.....	34
Gambar 4.3 Grafik Konvergensi Simulasi Kedua PSO.....	40
Gambar 4.4 Grafik Konvergensi Simulasi Kedua RDPSO.....	40

DAFTAR TABEL

Tabel 3.1	Pembebanan Bus Pada Sistem Jawa Bali 500 kV.....	18
Tabel 3.2	Karakteristik Sahuran Sistem Jawa Bali 500 kV.....	19
Tabel 3.3	Unit Pembangkit Beroperasi di Tiap Daerah.....	21
Tabel 3.4	Energi dan Harga Tiap Jenis Bahan Bakar.....	23
Tabel 3.5	Heat Rate Pembangkit.....	24
Tabel 3.6	Konstanta Fungsi Biaya Bahan Bakar Pembangkit.....	25
Tabel 3.7	Realisasi daya terbangkit dan biaya oleh PLN.....	30
Tabel 4.1	Hasil Simulasi Pertama Metode PSO.....	31
Tabel 4.2	Hasil Simulasi Pertama Metode RDPSO.....	32
Tabel 4.3	Perbandingan Hasil Simulasi Pertama.....	33
Tabel 4.4	Kapasitas dan Besarnya Arus Mengalir Sahuran.....	35
Tabel 4.5	Hasil Simulasi Kedua Metode PSO.....	37
Tabel 4.6	Hasil Simulasi Kedua RDPSO.....	38
Tabel 4.7	Perbandingan Hasil Simulasi Kedua.....	39
Tabel 4.8	Kapasitas dan Besarnya Arus Mengalir Sahuran.....	41

BAB 1

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Dalam sebuah sistem tenaga listrik, permasalahan biaya bahan bakar adalah perihal yang patut dipertimbangkan secara bijak. Biaya bahan bakar menyumbang sekitar 65% dari total biaya operasi [1]. Selanjutnya, sekitar 85% nyadipergunakan untuk memenuhi kebutuhan pembangkit termal yang berupa solar, gas, dan batu bara. Harga tiap jenis bahan bakar yang digunakan untuk beroperasi per satuan volumenya memiliki nilai yang berbeda. Sebagai contoh, pembangkit yang dioperasikan dengan menggunakan batu bara memiliki harga yang lebih murah daripada yang dioperasikan dengan solar ataupun gas.

Berdasarkan data PT. Perusahaan Listrik Negara (PLN) pada tahun 2014, 198,06 GWh energi listrik terjual untuk memenuhi kebutuhan domestic [2]. Angka tersebut meningkat sekitar 5,9% dibandingkan tahun sebelumnya. Dari penjualan tersebut, PLN meraih pendapatan senilai 292,72 Triliyun rupiah.

Peningkatan kebutuhan energi listrik dipastikan akan terus berlanjut dalam beberapa tahun kedepan seiring dengan realisasi program 35.000 MW yang menjadi mimpi besar presiden Ir. Joko Widodo [3]. Meningkatnya jumlah kebutuhan energi akan sejalan dengan peningkatan jumlah pembangkit. Semakin banyak jumlah pembangkit beroperasi, biaya operasi dan biaya bahan bakar akan turut meningkat.

Mengingat besarnya proporsi biaya bahan bakar dalam biaya operasi, optimasi pada sektor ini akan memberikan pengaruh yang sangat besar terhadap penghematan biaya operasi secara keseluruhan. Optimasi dilakukan melalui pembagian beban yang optimal dari generator yang beroperasi. Mengingat, biaya bahan bakar merupakan sebuah fungsi kuadrat dari daya di tiap unit pembangkit. Penghematan pada biaya operasi bahan bakar berimbas pada kenaikan pendapatan dan laba bersih PT PLN. Dalam bidang ilmu teknik sistem tenaga, permasalahan tersebut disebut *economic dispatch*.

Berbagai metode penyelesaian *economic dispatch* secara *heuristic* ataupun *metaheuristic* telah lama menjadi perhatian

peneliti. Kedua metode tersebut mengadopsi tipikal pendekatan yang berbeda [4]. Metode *heuristic* mengadopsi cabang ilmu matematika teknik dalam menentukan nilai paling ekonomis dari pembangkit beroperasi. Sedangkan pendekatan *metaheuristic* mengadopsi prinsip dari probabilitas. Iterasi lambda, *quadratic programming*, dan *gradient method* merupakan contoh penerapan metode berbasis matematika teknik. Sedangkan contoh metode *metaheuristic* diantaranya adalah *ant colony*, *particle swarm optimization*, *genetic algorithm*, dll.

Tugas akhir ini mengulas seputar optimasi pembebanan pembangkit (*economic dispatch*) menggunakan metode *Random Drift Particle Swarm Optimization (RDPSO)* pada sistem interkoneksi Jawa – Bali 500 KV. RDPSO adalah cabang dari metode *metaheuristic* yang merupakan pengembangan tingkat lanjut dari metode *Particle Swarm Optimization (PSO)*.

Dalam tugas akhir ini RDPSO diterapkan untuk memecahkan permasalahan *economic dispatch* pada sistem interkoneksi Jawa – Bali 500 KV. Harapannya, dihasilkan pembebanan pembangkit yang paling optimum untuk mencapai biaya bahan bakar yang paling ekonomis dengan tetap memenuhi kebutuhan beban yang ada. Tugas akhir ini mempertimbangkan rugi – rugi di saluran. Kapasitas transmisi dan kemampuan generator adalah batasan atau *constraint* yang dipertimbangkan dalam menyelesaikan permasalahan *economic dispatch* pada tugas akhir ini.

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang yang telah dijelaskan, dirumuskan beberapa permasalahan yang akan diteliti dalam Tugas Akhir ini. Beberapa permasalahan tersebut adalah:

1. Bagaimana hasil optimasi pembebanan pembangkit terhadap biaya pembangkitan yang dilakukan dengan menggunakan metode *Random Drift Particle Swarm Optimization* apabila dibandingkan dengan realisasi PLN dan metode PSO pada sistem interkoneksi 500 kV Jawa – Bali?
2. Apakah arus yang mengalir di tiap saluran hasil optimasi pembebanan pembangkit memenuhi kapasitas transmisi pada sistem interkoneksi Jawa – Bali 500 kV?

1.3 Tujuan Penulisan

Tujuan penulisan tugas akhir ini adalah:

1. Mengetahui hasil optimasi pembebanan pembangkit terhadap biaya pembangkitan yang dilakukan dengan menggunakan metode *Random Drift Particle Swarm Optimization* dengan dibandingkan terhadap realisasi biaya dari PLN dan optimasi menggunakan metode *Particle Swarm Optimization*
2. Mengetahui kesesuaian arus yang mengalir di tiap saluran hasil optimasi pembebanan pembangkit terhadap kapasitas transmisi di sistem interkoneksi Jawa – Bali 500 kV

1.4 Batasan Masalah

Batasan masalah yang digunakan dalam mengerjakan tugas akhir ini diantaranya adalah:

1. Optimasi pembebanan pembangkit dilakukan pada sistem tenaga listrik interkoneksi Jawa – Bali 500 kV
2. Pada sistem interkoneksi Jawa – Bali 500 kV perhitungan biaya hanya dilakukan pada unit pembangkit termal
3. Perhitungan biaya pada pembangkit hidro menggunakan data pembangkitan dari PLN yang kemudian dikalikan dengan harga tiap kWh nya
4. Perhitungan mempertimbangkan rugi – rugi yang terjadi di sistem
5. Kapasitas transmisi dipertimbangkan dalam menentukan kesesuaian hasil perhitungan
6. Perhitungan pembebanan generator dilakukan dengan merujuk data pada tanggal 19 Februari pukul 19.30

1.5 Metodologi Penelitian

Metodologi penelitian yang digunakan dalam penyusunan Tugas Akhir ini adalah sebagai berikut:

1. Studi literatur

Literatur yang digunakan berasal dari *paper*, jurnal, dan *text book*. Dalam studi literatur dipelajari teori pendukung seperti *load flow analysis*, *economic dispatch*, *optimal power flow*, *particle swarm optimization*, *random drift particle swarm optimization*. Contoh jurnal yang digunakan adalah “*Solving the Power Economic Dispatch Problem with Generator Constraints*

by *Random Drift Particle Swarm Optimization*” yang ditulis oleh Sun Jun pada IEEE Januari 2014.

2. Pengumpulan data

Data yang digunakan meliputi katakarakteristik generator, heat rate masing – masing unit pembangkit, harga bahan bakar, karakteristik saluran, dan pembebanan tiap bus. Pengumpulan data di dapat dari P2B (Pusat Pengaturan Beban) Jawa Bali PLN, Gandul, Cinere.

3. Pemodelan sistem interkoneksi Jawa – Bali 500 kV

Pemodelan dimaksudkan untuk membentuk formulasi dari sistem. Hal – hal yang dimodelkan diantaranya adalah sistem interkoneksi Jawa – Bali yang terdiri dari 26 bus bar dengan rincian 8 bus generator dan 18 bus beban. Data generator, pembebanan bus, dan karakteristik saluran turut dilibatkan dalam penyusunan model dari sistem ini

Selain itu, pemodelan juga memformulasikan fungsi biaya bahan bakar yang merujuk data heat rate dan harga bahan bakar pada setiap unitnya.

4. Perumusan dan implementasi metode RDPSO

Random Drift Particle Swarm Optimization adalah metode optimasi yang berbasis kecerdasan buatan dengan terinspirasi dari model elektron bebas suatu metal konduktor yang berada pada pengaruh medan listrik. Berdasarkan hal tersebut, pergerakan dari partikel adalah superposisi dari pergerakan termal dan pergerakan meluncur terhadap lokal fokus. Pergerakan termal adalah fungsi yang merepresentasikan pergerakan elektron secara global (explorasi) dalam mencari puncak nilai optimum. Sedangkan pergerakan meluncur atau *drift motion* adalah fungsi yang merepresentasikan pergerakan elektron secara local dalam menentukan titik fokusnya (eksploitasi).

5. Melakukan Load Flow

Load flow dilakukan untuk menghitung total *losses* yang ada di system. Setelah total *losses* diketahui maka berikutnya dilakukan perhitungan terhadap biaya daripada *losses* yang telah dihasilkan. Penghitungan biaya dilakukan dengan cara mengalikan daya *losses* kepada fungsi biaya generator yang dijadikan sebagai slack.

6. Menghitung kapasitas transmisi

Setelah didapat pembebanan pembangkit dari metode

RDPSO, berikutnya kita menghitung arus yang mengalir di masing – masing saluran. Dari arus yang mengalir tersebut kita bandingkan dengan kapasitas transmisinya. Apabila tidak terjadi *over current* maka pembebanan pembangkit dapat digunakan.

7. Penulisan buku

Hasil penelitian yang telah dilakukan dilaporkan dalam bentuk laporan tugas akhir. Laporan tersebut berisi pendahuluan, dasar teori, implementasi metode yang digunakan, serta kesimpulan dan saran dari penelitian. Buku ini yang kemudian dijadikan salah satu syarat lulus mata kuliah tugas akhir ini.

1.6Sistematika Penulisan

Adapun sistematika penulisan pada tugas akhir ini adalah sebagai berikut:

Bab 1 Pendahuluan

Bab ini menjelaskan tentang latar belakang, rumusan masalah, tujuan penulisan, metodologi, sistematika penulisan, dan relevansi tugas akhir ini.

Bab 2 Economic Dispatch

Bab ini berisi teori penunjang dalam pengerjaan tugas akhir ini. Hal pertama yang dibahas adalah seputar konsep optimasi pembebanan pembangkit atau *power system economic dispatch*. Berikutnya adalah penjabaran konsep dari *particle swarm optimization* dan *random drift particle swarm optimization*. Setelah itu, pemaparan materi seputar analisis aliran beban atau *load flow* yang akan digunakan untuk menghitung *losses*. Sedangkan yang terakhir adalah tentang kapasitas transmisi.

Bab 3 Pemodelan Sistem dan Penerapan Metode RDPSO

Bab ini berisi penjabaran detail pemodelan sistem Jawa Bali 500 kV dan juga diagram alir penerapan RDPSO untuk melakukan optimasi biaya bahan bakar dalam pemenuhan beban pada satu waktu tertentu

Bab 4 Hasil Simulasi dan Analisa

Bab ini berisikan hasil dua simulasi metode RDPSO terhadap sistem interkoneksi Jawa – Bali 500 kV dengan dibandingkan terhadap realisasi PLN dan optimasi dengan PSO. Hasil yang didapat berikutnya dianalisis oleh penulis.

Bab 5 Kesimpulan dan Saran

Bab ini berisikan kesimpulan dan saran dari analisis yang dilakukan dan sekumpulan saran untuk pengembangan tugas akhir ini selanjutnya.

1.7Relevansi

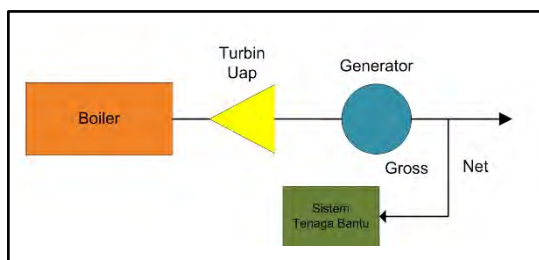
Hasil yang diperoleh dari pelaksanaan tugas akhir diharapkan dapat memberikan manfaat, antara lain:

1. Dapat menjadi referensi bagi PLN untuk mengatur pembebanan pembangkit guna mendapatkan biaya yang paling ekonomis dalam pengoperasian.
2. Dapat menjadi rujukan dalam menghitung biaya ekonomis ketika terjadi fluktuasi beban
3. Dapat menjadi referensi bagi mahasiswa lain yang hendak mengambil topik optimal power flow untuk kemudian memaksimal aliran daya di sistem.
4. Terumuskan dan terimplementasinya metode RDPSO dalam memecahkan permasalahan economic dispatch di Indonesia.

BAB 2 ECONOMIC DISPATCH

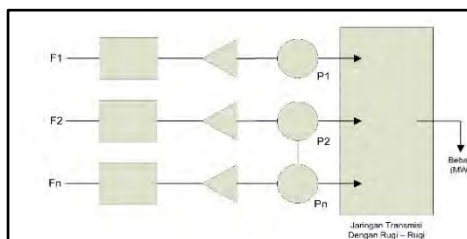
2.1 Economic Dispatch

Dalam sistem tenaga listrik, kebutuhan daya dipenuhi oleh beberapa jenis pembangkit seperti termal, hidro, gas, nuklir, dll. Pembangkit termal memiliki karakteristik bahwa harga bahan bakar sangat menentukan biaya operasi [5]. Biaya kebutuhan bahan bakar ditentukan oleh daya yang dibangkitkan. Antar unit pembangkit termal, karakteristik dan biaya bahan bakarnya tidak selalu sama.



Gambar 2.1 Konsep pembangkit termal

Operasi pusat - pusat pembangkit harus dikoordinasikan sesuai permintaan daya [6]. Koordinasi ini dapat dilakukan dengan penjadwalan pembangkit secara optimum ekonomi terhadap setiap perubahan beban dalam sebuah interval waktu tertentu. Penjadwalan pembangkit ini merupakan kombinasi pembangkit – pembangkit yang beroperasi untuk menanggung beban saat itu.



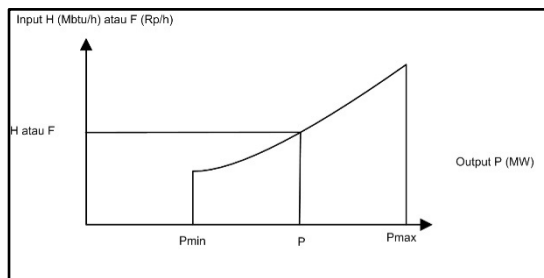
Gambar 2.2 Sejumlah pembangkit thermal mensuplai beban melalui jaringan transmisi dengan rugi - rugi

Gambar diatas menunjukkan beberapa unit pembangkit yang terhubung ke sebuah bus beban melalui sebuah jaringan transmisi. Permasalahan *economic dispatch* pada konfigurasi ini suatu hal yang kompleks karena ada rugi – rugi daya yang perlu dipertimbangkan.

Economic dispatch adalah sebuah proses pembagian beban pada unit pembangkit untuk menghasilkan biaya operasi paling minimum. Besar beban pada suatu system selalu berubah di tiap periodenya. Untuk mencukupi kebutuhan beban secara ekonomis maka perhitungan *economic dispatch* dilakukan pada tiap nilainya. Batasan utama dari mekanisme ini adalah kapasitas generator dan juga kesesuaian daya terbangkit terhadap beban yang harus dipenuhi

2.1.1 KarakteristikPembangkit Termal

Pembangkit termal mempunyai biaya operasi yang didapat berdasarkan karakteristik input – output. Untuk pembangkit termal, karakteristik input – outputnya merupakan penggunaan bahan bakar atau biaya tiap jam yang biasa ditulis dalam Btu/hr atau Rp/hr. Biaya pembangkitan adalah perkalian dari biaya (Rp) bahan bakar pembangkit tiap kalorinya (Rp/kal) dengan kebutuhan kalori pembangkit tiap jam nya (kal/hr). Kurva input – output pembangkit termal ditunjukkan sebagai berikut.



Gambar 2.3 Karakteristik input – output pembangkit termal

Karakteristik input output merupakan persamaan pendekatan dari jumlah biaya bahan bakar yang digunakan oleh generator terhadap daya output yang dihasilkan. Beberapa cara yang dapat digunakan untuk mendapatkan persamaan ini diantaranya adalah:

- ✓ Berdasarkan percobaan efisiensi dari pembangkit

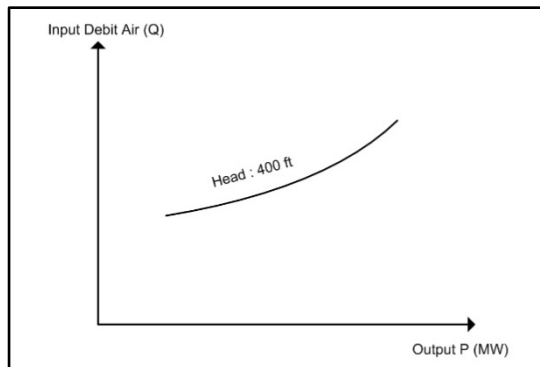
- ✓ Data historis mengenai operasi dari unit generator
- ✓ Data desain dari unit generator yang diberikan oleh vendor produsen generator tersebut

Dari pendekatan tersebut, kemudian didapatkan fungsi polynomial orde 2 atau lebih, yang disebut juga sebagai fungsi biaya. Hasil dari fungsi biaya ini merupakan jumlah biaya yang diperlukan suatu pembangkit untuk menghasilkan daya tertentu.

Pembangkit termal memiliki batas minimum dan maksimum, maksudnya generator dapat dioperasikan dengan syarat daya terbangkit tidak kurang dari batas daya minimum atau tidak lebih dari batas daya maksimum.

2.1.2 Karakteristik Pembangkit Hidro

Pembangkit listrik tenaga air mempunyai karakteristik input output sama dengan pembangkit termal. Unit pembangkit listrik tenaga air tidak mempunyai biaya bahan bakar, sehingga inputnya berupa volume air per unit waktu dengan output daya terbangkit.



Gambar 2.4 Kurva input – output pembangkit hidro

Karena tidak memiliki bahan bakar, maka PLTA juga tidak memiliki biaya bahan bakar. Gambar 2.4 menunjukkan kurva input pembangkit tenaga air. Karakteristik ini hampir menunjukkan kurva yang linear. Semakin besar daya output maka semakin besar pula volume air per waktu.

2.1.3 Persamaan Matematis *Economic Dispatch* (ED)

Economic dispatch pada system pembangkit digunakan untuk menentukan kombinasi daya output dari unit generator yang terinterkoneksi satu dengan lain dengan maksud meminimalkan biaya bahan bakar dengan tetap memenuhi batasan yang ada. Masalah ini dijelaskan dalam model matematika sebagai berikut:

$$F_t = \sum F_i(P_i) \quad (2.1)$$

$$F_i(P_i) = a_i + b_i P_i + c_i P_i^2 \quad (2.2)$$

Keterangan :

- F_t : total biaya pembangkitan (Rp)
- F_i(P_i) : fungsi biaya input output dari pembangkit i (Rp/jam)
- a_i, b_i, c_i : koefisien biaya pembangkitan i
- P_i : daya output pembangkit i
- N : jumlah unit pembangkit
- i : indeks dari unit generator

Fungsi biaya pembangkit yang ditunjukkan di persamaan (2.2), merupakan persamaan orde dua, dengan kata lain merupakan fungsi polynomial yang tidak linear. Sehingga dalam perhitungan *Economic Dispatch* menjadi cukup rumit.

Berdasarkan persamaan (2.2) dapat kita ketahui bahwa hasil perhitungan biaya dari daya output pembangkit merupakan fungsi yang nonlinear. Kombinasi daya output yang dibangkitkan oleh tiap generator harus memenuhi kebutuhan beban dan memenuhi batas minimum dan maksimum dari daya yang dapat dibangkitkan oleh generator (*inequality constraint*). Hal tersebut dijabarkan dalam persamaan berikut:

$$P_{g_i \min} \leq P_{g_i} \leq P_{g_i \max} \quad (2.3)$$

$$\sum P_{\text{terbangkit}} = P_{\text{beban}} + P_{\text{rugi}} - \text{rugi} \quad (2.4)$$

Keterangan :

- P_{min} , P_{max} : batas minimal dan maximal daya terbangkit
- P_{g_i} , P_{terbangkit} : daya output pembangkit
- P_{beban} : daya permintaan konsumen
- P_{rugi} : rugi daya yang terjadi pada jalur transmisi

Dalam perhitungan *economic dispatch* rugi – rugi transmisi juga turut dipertimbangkan. Rugi – rugi ini dihasilkan oleh adanya aliran daya pada jaringan transmisi, dan nilainya ditentukan oleh nilai dayayang mengalir pada saluran transmisi tersebut. Jadi, dengan pembangkit, selanjutnya menentukan besar aliran daya pada saluran transmisi, dan akhirnya menentukan rugi – rugi transmisi yang dihasilkan oleh aliran daya tersebut.

2.2 Particle Swarm Optimization

Particle swarm optimization (PSO) adalah metode pencarian nilai optimum yang berbasis populasi. Metode ini dikembangkan oleh Kennedy dan Eberhart pada tahun 1995 [7]. Secara umum PSO merujuk pada dua paradigma. Paradigma yang pertama mengkorelasikan PSO dengan kecerdasan buatan yang berlaku secara general, seperti perilaku kawanan burung, kawanan ikan, dan semua teori yang menjabarkan perilaku suatu kawanan. Paradigma kedua merujuk PSO terhadap algoritma evolutionary semacam *genetic algorithm* (GA) dan *evolutionary programming*(EP).

Beberapa dekade ini metode ini menjadi favorit para peneliti dikarenakan kemampuannya yang cukup baik dalam menyelesaikan permasalahan optimasi. PSO mampu menghadirkan solusi yang lebih murah dengan proses yang lebih cepat. Metode ini telah sukses digunakan dalam banyak penelitian dan pengaplikasian.

Di dalam PSO dengan jumlah M partikel, setiap partikelnya memiliki dimensi sebanyak N . Setiap partikel dinotasikan dengan i dengan iterasinya disimbolkan sebagai n . Sehingga representasi dari posisi dan kecepatan partikel ke i pada iterasi n dapat dituliskan sebagai $X_{i,n} = X_{i,n}^1, X_{i,n}^2, X_{i,n}^3$ dan $V_{i,n} = V_{i,n}^1, V_{i,n}^2, V_{i,n}^3$. Setiap partikelnya bergerak berdasarkan persamaan berikut:

$$V_{i,n+1}^j = V_{i,n}^j + C_1 \cdot r_{i,n}^j (P_{i,n}^j - X_{i,n}^j) + C_2 \cdot R_{i,n}^j (G_{i,n}^j - X_{i,n}^j) \quad (2.5)$$

$$X_{i,n+1}^j = X_{i,n}^j + V_{i,n}^j \quad (2.6)$$

Untuk $i = 1, 2, \dots, M$; $j = 1, 2, \dots, N$, dimana c_1 dan c_2 dikenal sebagai koefisien akselerasi.

Vektor $P_{i,n} = P_{i,n}^1, P_{i,n}^2, P_{i,n}^3$ adalah posisi terbaik (posisi yang memberikan nilai terbaik pada fungsi objektif) pada partikel i dari

beberapa iterasi sebelumnya. Posisi ini umum dikenal sebagai *personal best (pbest) position*.

Sedangkan vektor $G_n = (G_n^1, G_n^2, \dots, G_n^3)$ adalah posisi partikel terbaik diantara semua partikel dalam sebuah populasi yang disebut *global best* di tiap iterasi.

Parameter $r_{i,n}^j$ dan $R_{i,n}^j$ adalah dua bilangan random berbeda yang terdistribusi secara uniform pada interval nol sampai satu dan di denotasikan sebagai $r_{i,n}^j, R_{i,n}^j \sim U(0,1)$.

Dalam perkembangannya, PSO sebagaimana yang tertulis dalam persamaan 2.5 memiliki kelemahan dalam kemampuan pencarian secara local. Hal utama yang perlu diingat dalam metode ini adalah proses pencarian local (exploitasi) dan pencarian global (explorasi) adalah sebuah hal yang sangat fundamental dalam mengukur performansi dari algoritma ini. Maka dari itu, metode PSO ini perlu mempercepat kecepatan konvergensi dari partikelnya untuk mencapai keseimbangan yang lebih baik antara exploitasi dan explorasi.

2.3 Random Drift Particle Swarm Optimization

Random Drift Particle Swarm Optimization (RDPSO) adalah bagian dari metode *metaheuristic* yang terinspirasi oleh model elektron bebas suatu metal konduktor yang berada pada pengaruh medan listrik [8]. Berdasarkan hal tersebut, pergerakan dari partikel adalah superposisi dari pergerakan thermal dan pergerakan meluncur terhadap local fokusnya. Kelajuan daripada particle dapat direpresentasikan $V_{i,n}^j = VR_{i,n}^j + VD_{i,n}^j$, dimana VR dan VD merepresentasikan kelajuan pergerakan thermal dan pergerakan meluncur. Berikut persamaan keduanya.

$$VR_{i,n+1}^j = \sigma_{i,n}^j \lambda_{i,n+1}^j \quad (2.7)$$

$$VD_{i,n+1}^j = \beta (p_{i,n}^j - X_{i,n}^j) \quad (2.8)$$

$\lambda_{i,n+1}^j$ adalah angka random dengan standard normal distribusi, dan $\sigma_{i,n+1}^j$ adalah standard deviasi dari distribusi Gaussian yang nilainya ditentukan oleh:

$$\sigma_{i,n}^j = \alpha |C_n^j - X_{i,n}^j| \quad (2.9)$$

Yang mana $C_n^j = (\frac{1}{M}) \sum_{i=1}^M Y_{i,n}^j$ ($1 \leq j \leq N$) disebut sebagai posisi terbaik rata – rata (mean best position). Dengan spesifikasi demikian, kita memiliki update persama dari partikel di RDPSO dengan bentuk :

$$V_{i,n+1}^j = \alpha |C_n^j - X_{i,n}^j| \lambda_{i,n+1}^j + \beta (p_{i,n}^j - X_{i,n}^j) \quad (2.10)$$

$$X_{i,n+1}^j = X_{i,n}^j + V_{i,n+1}^j \quad (2.11)$$

Outline dari RDPSO tergambarakan sebagaimana berikut :

- Step 0 : Menginisiasi posisi terkini dari masing – masing partikel,dan melakukan seting posisi personalnya sebagai posisinya awal
- Step 1 : Set $n = 0$
- Step 2 : ketika kondisi yang diharapkan tidak ditemukan, lakukan langkah berikut
- Step 3 : Set $n = n + 1$ dan hitung mean best position
- Step 4 : dari $I = 1$ eksekusi step berikut
- Step 5 : Hitung hasil $f(X_{i,n})$ dan update $Y_{i,n}$ dan G_n
- Step 6 : Update setiap kelajuan kompenen dan posisi saat ini dari partikel i
- Step 7 : Set $i = i + 1$, dan kembali ke Step 5 hingga $i = M$
- Step 8 : Kembali ke Step 2

2.4 Load Flow

Studi aliran beban adalah salah satu aspek yang paling penting dari perencanaan dan pengoperasian sistem tenaga listrik. Aliran beban memberi kita sinusoidal steady state dari seluruh sistem yang meliputi tegangan, daya nyata, daya reaktif, serta rugi – rugi yang terjadi di tiap saluran. Karena beban adalah besaran statis dan itu adalah kekuatan yang mengalir melalui jalur transmisi, khalayak lebih familiar menyebutnya dengan istilah studi aliran daya daripada studi aliran beban.

Melalui studi aliran beban, kita dapat memperoleh besarnya tegangan dan sudut pada setiap bus dalam kondisi stabil. Hal ini

menjadi penting sebagai dasar untuk menentukan sebuah sistem berada dalam kondisi stabil atau tidak.

Dalam studi analisa aliran daya didapat beberapa kegunaan antara lain :

1. Mengetahui setiap tegangan pada sinyal yang ada dalam sistem
2. Mengetahui kondisi peralatan, apakah memenuhi batas yang ditentukan untuk menyalurkan daya yang diinginkan
3. Mengetahui kondisi mula pada perencanaan sistem yang baru
4. Pada hubung singkat, stabilitas pembebanan ekonomis

Daya listrik akan selalu mengalir ke beban, karenanya dalam hal ini aliran dayanya juga merupakan aliran beban. Pada dasarnya beban dapat digolongkan menjadi dua macam yaitu beban statis dan beban dinamis. Pada setiap simpul atau bus sistem terdapat empat parameter atau besaran yaitu daya nyata (aktif), daya semu (reaktif), tegangan, dan sudut fasa. Dalam menganalisa aliran daya, dua parameter utama yang dicari adalah tegangan tiap bus serta aliran daya di tiap saluran

Aliran daya pada saluran i-j ditentukan sebagai berikut :

$$S_{i,j} = V_i T_{ij}^* \quad (2.12)$$

$$S_{ij} = V_i \left[\frac{V_i - V_j}{Z_{ij}} \right] \quad (2.13)$$

dimana Z_{ij} adalah impedansi saluran ij.

Dalam analisa sistem tenaga (aliran daya) ada 3 klasifikasi bus yaitu:

- a) Load bus (PQ bus) cirinya adalah terhubung ke sistem dengan diketahui daya aktif (P) dan daya reaktifnya (Q) untuk dihitung tegangan $|V|$ dan sudut fasanya.
- b) Swing/slack bus. Diketahui tegangan $|V|$ dan sudut fasanya bernilai satu. Untuk kemudian dihitung daya aktif (P) dan reaktifnya (Q). Berfungsi untuk mencatu rugi-rugi daya dari beban yang tidak dapat dicatu dari generator lain.
- c) Generator bus, adalah bus yang terhubung dengan generator, P dan $|V|$ diketahui, ada daya aktif terbangkit (P), untuk kemudian dihitung daya reaktif dan sudut fasanya.

2.4.1 Metode Gauss Seidel

Perhitungan analisa aliran daya dengan menggunakan metode Gauss Seidel memiliki beberapa karakteristik, diantaranya adalah :

1. Perhitungan dan pemrograman relatif lebih mudah.

2. Waktu tiap iterasi singkat.
3. Sesuai untuk sistem dengan jaringan sedikit, 5 bus atau kurang
4. Pencapaian konvergen lambat
5. Makin banyak bus jumlah iterasi juga akan semakin bertambah.

Bila bus referensi diganti bus yang lain untuk sistem radial tidak dapat mencapai konvergen. Penurunan persamaanya dimulai dengan suatu rumusan simpul dari persamaan jaringan.

Sebagai contoh kita akan menurunkan persamaan untuk suatu sistem empat bus dan persamaanya yang umum akan dibahas kemudian. Dengan swing bus ditetapkan sebagai nomor 1, perhitungan dimulai dengan bus 2. Jika P_2 dan Q_2 adalah daya aktif dan daya reaktif yang direncanakan akan memasuki bus 2, maka :

$$V_2 I_2^* = P_2 + jQ_2 \quad (2.14)$$

Dimana I_2 dinyatakan sebagai

$$I_2 = \frac{P_2 - jQ_2}{V_2^*} \quad (2.15)$$

dengan admitansi sendiri dan mutual simpul sebagai sukunya, serta generator dan beban diabaikan karena arus yang masuk ke setiap simpul telah dinyatakan :

$$\frac{P_2 - jQ_2}{V_2^*} = Y_{12}V_1 + Y_{12}V_2 + Y_{13}V_3 + Y_{24}V_4 \quad (2.16)$$

Dengan menyelesaikan untuk V_2 didapatkan

$$V_2 = \frac{1}{Y_{22}} \left[\frac{P_2 - jQ_2}{V_2^*} + (Y_{12}V_1 + Y_{13}V_3 + Y_{24}V_4) \right] \quad (2.17)$$

Persamaan di atas memberikan nilai yang telah dikoreksi untuk V_2 berdasarkan P_2 dan Q_2 yang telah direncanakan bila nilai yang semula diperkirakan dimasukkan sebagai ganti pernyataan tegangan pada ruas kanan persamaan tersebut. Nilai yang diitung untuk V_2 tidak akan sesuai dengan nilai untuk V_2 . Dengan memasukkan nilai konjugate dari V_2 yang telah dihitung sebagai ganti V_2^* , untuk menghitung nilai lain dari V_2 , penyesuaian akan tercapai dengan tingkat ketepatan yang baik setelah beberapa iterasi, dan akan merupakan nilai V_2 yang benar dengan tegangan yang diperkirakan tanpa memandang daya pada bus-bus lain.

Tapi nilai ini bukan merupakan penyelesaian untuk V_2 bagi keadaan aliran beban yang ditetapkan karena tegangan V_2 didasarkan adalah nilai perkiraan pada bus-bus yang lain. Sedang tegangan yang sesungguhnya belum diketahui, dianjurkan untuk

membuat dua buah perhitungan V_2 berturut-turut (yang kedua sama seperti yang pertama kecuali untuk pembentukan pada V_2^*).

Untuk setiap bus sebelum diteruskan ke bus yang lain. Setelah tegangan yang dibetulkan diperoleh di tiap bus, nilai ini dipakai lagi untuk menghitung tegangan yang dibetulkan pada bus berikutnya. Proses ini diulang untuk tiap bus berturut-turut untuk seluruh jaringan (kecuali untuk swing) untuk menyelesaikan iterasi yang pertama. Kemudian seluruh proses dilakukan lagi berulang-ulang, hingga besarnya pembentukan tegangan pada tiap bus kurang dari suatu indeks ketepatan yang sebelumnya telah ditetapkan.

2.4.2 Metode Newton Raphson

Mempunyai keuntungan perhitungan dan pemrogramannya relative mudah, waktu tiap iterasi singkat, sesuai untuk system jaringan yang besar dan tidak tergantung pada banyaknya bus, banyak sedikit bus iterasinya sama.

Secara konsep dasar daya listrik pada suatu elemen adalah tegangan pada elemen tersebut dikalikan dengan arus yang mengalir melalui elemen tersebut.

2.5 Kapasitas Transmisi

Dalam sistem interkoneksi Jawa Bali 500 kV, ada dua tipe konduktor yang digunakan. Tipe konduktor pertama adalah ACSR Dove yang memiliki rating arus sebesar 1,98 kA. Tipe konduktor kedua adalah ACSR Gannet yang memiliki rating arus sebesar 2,4 kA.

Jumlah saluran dari satu bus ke bus yang lain bervariasi antara satu dan dua. Sebagai contoh koneksi dari bus Suralaya ke bus Cilegon menggunakan dua saluran dengan tipe konduktor ACSR Gannet. Sehingga kapasitas arus transmisinya sebesar 4.8 kA. Sedangkan koneksi dari bus Ngimbang ke bus Surabaya Barat menggunakan satu saluran ACSR Dove. Nilai kapasitas arus transmisinya adalah 1,98 kA.

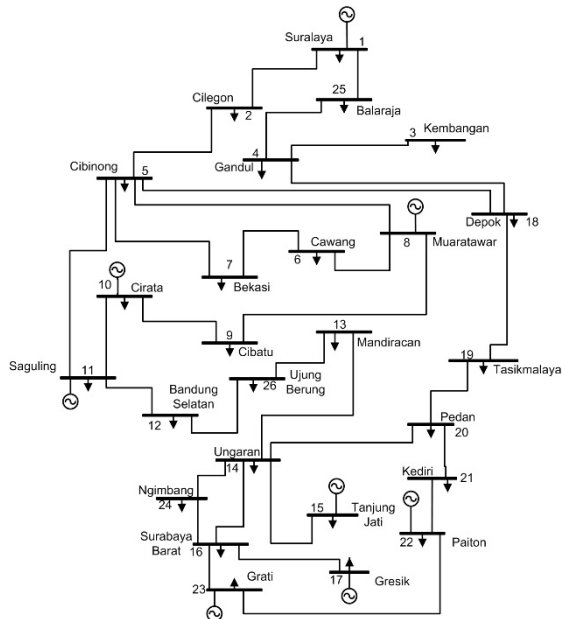
BAB 3

PEMODELAN SISTEM DAN PENERAPAN METODE RDPSO

3.1 Sistem Interkoneksi Jawa – Bali 500 kV

Dalam tugas akhir ini sistem interkoneksi Jawa Bali 500 kV dimodelkan kedalam sebuah sistem yang terdiri atas 26 bus, 32 saluran, dan delapan unit pembangkit. Pembangkit-pembangkit yang beroperasi diantaranya adalah pembangkit Suralaya, Muaratawar, Cirata, Saguling, Tanjungjati, Gresik, Paiton, dan Grati. Diantara delapan pembangkit tersebut, pembangkit Ciratadan pembangkit Saguling merupakan pembangkit listrik bertenaga air, sedangkan sisanya merupakan pembangkit termal. Pada tugas akhir ini pembangkit Suralaya ditetapkan sebagai *slack bus*.

Sistem interkoneksi 500 kV Jawa Bali dapat digambarkan dalam bentuk *single line diagram* pada gambar 3.1 berikut ini.



Gambar 3.1 Single Line Diagram Jawa Bali 500 kV

Data pembebanan pada sistem diperoleh dari Pusat Pengaturan Beban (P2B) Jawa Bali, Galdul, Cinere, Depok, untuk kondisi pada tanggal 19 Februari 2016 pukul 19.30

Tabel 3. 1 Pembebanan Bus Pada Sistem Jawa Bali 500 kV

Bus No	Nama Bus	Mw	Mvar
1	Suralaya	147,86	77,44
2	Cilegon	100,23	193,24
3	Kembangan	122	114
4	Gandul	571,28	-31,2
5	Cibinong	367,32	231,14
6	Cawang	523	108
7	Bekasi	740	-7
8	Muara Tawar	0	0
9	Cibatu	947	410
10	Cirata	667,07	261,07
11	Saguling	0	0
12	Bandung Selatan	557	261
13	Mandiracan	67,96	66,79
14	Ungaran	654	410
15	Tanjung Jati	292	55
16	Surabaya Barat	932,85	339,71
17	Gresik	102,3	118,77
18	Depok	503,99	108,38
19	Tasikmalaya	285	92
20	Pedan	674	231
21	Kediri	615,4345	178,8
22	Paiton	869	210
23	Grati	447,4	280,3

Bus No	Nama Bus	Mw	Mvar
24	Ngimbang	574	164
25	Balaraja	577	184
26	Ujung Berung	25,73	4,18

Selain itu, karakteristik saluran yang meliputi resistansi dan reaktansinya dalam satuan p.u (*per unit*) pada sistem ditunjukkan dalam tabel 3.2 berikut ini.

Tabel 3. 2Karakteristik Saluran Sistem Jawa Bali 500 kV

Bus Asal	Bus Tujuan	Resistansi	Reaktansi
1	2	0,000626496	0,007008768
	25	0,003677677	0,035333317
2	5	0,013133324	0,146925792
3	4	0,001513179	0,016928308
4	18	0,000694176	0,006669298
5	7	0,00444188	0,0426754
	8	0,0062116	0,059678
	11	0,00411138	0,04599504
6	7	0,001973648	0,01896184
	8	0,0056256	0,054048
8	9	0,002822059	0,027112954
9	10	0,00273996	0,026324191
10	11	0,001474728	0,014168458
11	12	0,0019578	0,0219024
12	13	0,00699098	0,0671659
	26	0,000385	0,003703
13	14	0,013478	0,12949
	26	0,000868	0,0097008

Bus Asal	Bus Tujuan	Resistansi	Reaktansi
14	15	0,01353392	0,15140736
	16	0,01579856	0,1517848
	20	0,00903612	0,0868146
16	17	0,00139468	0,0133994
	23	0,003986382	0,044596656
18	5	0,000818994	0,00786848
	19	0,014056	0,15724802
19	20	0,015311	0,171288
20	21	0,010291	0,115128
21	22	0,010291	0,115128
22	23	0,004435823	0,049624661
24	14	0,023479613	0,225580588
	16	0,005966652	0,057324466
25	4	0,002979224	0,02862292

3.2 Pemodelan Pembangkit

Dalam pengerjaan tugas akhir ini, pembangkit termal yang beroperasi pada sistem Jawa – Bali 500 kV dimodelkan kedalam bentuk persamaan kuadrat. Pemodelan dilakukan terhadap biaya bahan bakar yang merupakan fungsi dari daya terbangkit. Sehingga, semakin besar daya terbangkit dari tiap generator maka biaya bahan bakar akan meningkat mengikuti persamaannya.

Disamping itu, pembangkit listrik tenaga air dimodelkan kedalam bentuk persamaan linear yang mana perhitungannya hanya dengan mengalikan daya terbangkit terhadap harga tiap kWh nya.

3.2.1 Pemodelan Pembangkit Termal

Pembangkit termal pada sistem Jawa Bali ditenitaskan pada daerah dimana dia berada. Sebagai contoh, pada daerah Paiton yang

memiliki delapan unit pembangkit, fungsi biaya setiap unit pembangkitnya dimodelkan. Kemudian, fungsi biaya kedelapan unit yang sudah dimodelkan tersebut disatukan menjadi satu fungsi dengan entitas Paiton kedalam simulasi.

Tahapan pemodelan fungsi biaya bahan bakar diawali dengan memastikan unit – unit pembangkit yang beroperasi di setiap daerahnya dalam memenuhi kebutuhan beban sebesar 11.363,4 MW pada tanggal 19 Februari 2016 pukul 19.30 WIB. Adapun unit – unit pembangkit yang beroperasi disebutkan dalam tabel 3.3 berikut.

Tabel 3. 3Unit Pembangkit Beroperasi di Tiap Daerah

Unit Pembangkit di Suralaya
PLTU SRLYA #2
PLTU SRLYA #3
PLTU SRLYA #4
PLTU SRLYA #5
PLTU SRLYA #6
PLTU SRLYA #7
Unit Pembangkit di Paiton
PLTU PITON #1
PLTU PITON #2
PLTU Jawa Power #5
PLTU PEC #3
PLTU PEC #7
PLTU PEC #8
PLTU PAITON #9
Unit Pembangkit di Muara Tawar
MTWAR2 OC 21
MTWAR2 OC 22
MTWAR4 OC 41
MTWAR4 OC 42

Unit Pembangkit di Grati
GRATI1CC 331
GRATI2 OC 21
GRATI2 OC 22
GRATI2 OC 23
Unit Pembangkit di Gresik
GRSIK1 CC 331
GRSIK2 CC 221
GRSIK3 CC 331
GRSIK 1U
GRSIK 2U
GRSIK 3U
GRSIK 4U
Unit Pembangkit di Tanjung Jati
Tanjung Jati #1
Tanjung Jati #2
Tanjung Jati #3
Tanjung Jati #4

Setelah kita mengetahui unit – unit pembangkit mana saja yang beroperasi pada waktu tersebut, berikutnya kita menghitung harga pembangkitan dalam satuan Rp/h dengan cara membagi heat rate nya dengan energi per satuan bahan bakar. Hasilnya dikali dengan harga tiap dimensi bahan bakar dan juga daya terbangkit. Berikut persamaan dalam menghitung biaya bahan bakar yang dibutuhkan untuk operasi unit pembangkit.

$$\frac{\text{Heat Rate}}{\text{Energi per satuan bahan bakar}} \times \text{Harga per satuan} \times \text{Daya}$$

$$(Rp/h) = \frac{kcal/kWh}{kcal/dimensi} \times Rp/dimensi \times kWatt$$

Profil lengkap tentang karakteristik pembangkit yang berupa energi tiap satuan, heat rate, dan harga tiap satuan berdasarkan jenisnya di masing – masing daerah dituangkan dalam table 3.4 dan table 3.5 berikut.

Tabel 3. 4 Energi dan Harga Tiap Jenis Bahan Bakar

Jenis Pembangkit	Energi Primer	kcal/dimensi	Rp/dimensi
Suralaya Kapasitas 400 MW	Batu Bara	4.848	Rp. 742
Suralaya Kapasitas 600 MW	Batu Bara	4.758	Rp. 742
Grati	Gas	252.000	Rp. 5
Tanjung Jati 1&2	Batu Bara	5.847	Rp. 847
Tanjung Jati 3&4	Batu Bara	5.752	Rp. 870
Gresik	Gas	252.000	Rp. 7
Pembangkit Jawa Bali (PJB) Paiton Unit 1 dan 2	Batu Bara	4.900	Rp. 706
Paiton Energy Indonesia Paiton Unit 7 dan 8	Batu Bara	5.215	Rp. 727
Paiton Energy Indonesia Paiton Unit 3	Batu Bara	5.000	Rp. 702
Jawa Power Paiton Unit 5 dan 6	Batu Bara	5,000	Rp. 696
Pembangkit Jawa Bali (PJB)	Batu Bara	4.304	Rp. 536

Paiton Unit 9			
Muaratawar	Gas	252.000	Rp. 9

Tabel 3. 5 Heat Rate Pembangkit

Pembangkit	Daya Terbangkit				Heat Rate			
SRLYA2B	200	262	302	373	2.784	2.697	2.654	2.596
SRLYA3B	200	262	302	373	2.784	2.697	2.654	2.596
SRLYA4B	200	262	302	373	2.784	2.697	2.654	2.596
SRLYA5B	301	391	451	585	2.717	2.665	2.635	2.573
SRLYA6B	301	391	451	585	2.717	2.665	2.635	2.573
GRATI 13 CC	200	228	310	450	2.632	2.476	2.206	2.052
GRATI 21 OC	30	50	75	100	5.194	3.927	3.275	3.080
GRATI 22 OC	30	50	75	100	5.194	3.927	3.275	3.080
GRATI 23 OC	40	50	70	100	4.219	3.739	3.306	2.972
GRSIK11CC	115	124	133	160	2.356	2.350	2.347	2.344
GRSIK21CC	115	124	133	160	2.356	2.350	2.347	2.344
GRSIK31CC	115	124	133	160	2.356	2.350	2.347	2.344
GRSIK1U	43	50	65	80	2.796	2.757	2.710	2.671
GRSIK2U	43	50	65	80	2.796	2.757	2.710	2.671
GRSIK3U	90	110	135	167	2.410	2.376	2.357	2.334
GRSIK4U	90	110	135	167	2.410	2.376	2.357	2.334
PAITON 1	225	260	300	370	2.759	2.730	2.674	2.505
PAITON 2	225	260	300	370	2.759	2.730	2.674	2.505
PAITON 5	305	427	519	610	2.700	2.596	2.518	2.440
PAITON 7	303	424	514	615	2.772	2.642	2.544	2.447
PAITON 8	303	424	514	615	2.772	2.642	2.544	2.447
PAITON 3	408	571	693	815	2.550	2.430	2.375	2.338
PAITON 9	330	495	580	660	3.011	2.850	2.643	2.597

STJTIB1B	414	510	610	658	2.559	2.444	2.408	2.430
STJTIB2B	414	510	610	658	2.559	2.444	2.408	2.430
STJTIB3B	403	501	598	661	2.519	2.455	2.414	2.403
STJTIB4B	403	501	598	661	2.519	2.455	2.414	2.403
Pembangkit	Daya Terbangkit				Heat Rate			
MTWAR21OC	72	93	115	135	3.722	3.715	3.308	3.218
MTWAR22OC	72	93	115	135	3.722	3.715	3.308	3.218
MTWAR41OC	35	70	110	140	4.832	3.763	3.206	3.053
MTWAR42OC	35	70	110	140	4.832	3.763	3.206	3.053

Setelah didapatkan biaya bahan bakar dalam Rp/h dari tiap pembangkit yang beroperasi, berikutnya dilakukan *polyfit* guna membentuk persamaan kuadrat dari biaya bahan bakar tersebut.

Setelah masing – masing pembangkit di suatu wilayah kita dapatkan fungsi kuadratnya, berikutnya kita membentuk fungsi komposit. Fungsi komposit adalah fungsi yang merupakan gabungan dari beberapa unit pembangkit beroperasi di suatu wilayah. Semisal pada tugas akhir ini, unit pembangkit Paiton yang bekerja hanya tujuh dari delapan unit yang ada. Tujuh fungsi kuadrat bahan bakar tersebut kemudian dikompositkan menjadi satu persamaan kuadrat baru dengan entitas Paiton.

Hasil akhir dari pemodelan ini adalah fungsi kuadrat dari semua unit pembangkit yang beroperasi dengan entitas wilayah masing – masing sebagaimana ditunjukkan pada tabel 3.6 berikut ini.

Tabel 3. 6 Konstanta Fungsi Biaya Bahan Bakar Pembangkit

Pembangkit	C	B	A
Suralaya	41.823.191,79	404.470,783	-10,2473797
Muara Tawar	10.167,24785	105,882440	-0,02632027
Tanjung Jati	125.297.412,2	268.733,703	15,19436873
Gresik	4.578,673786	62,8289953	-0,00019403
Paiton	181.292.917,48	303.921,461	-0,91585168

Grati	10.811,80774	28,3407125	0,013529965
-------	--------------	------------	-------------

3.2.2 Pemodelan Pembangkit Hidro

Pada tugas akhir ini pembangkit hidro dimodelkan kedalam bentuk persamaan linear. Sistem ini memiliki dua pembangkit hidro yakni pembangkit Cirata dan pembangkit Saguling. Kapasitas daya minimum dan maksimum Cirata adalah 500 MW dan 1.000 MW. Sedangkan Saguling memiliki kapasitas 350 dan 700 MW. Biaya bahan bakar pada pembangkit Cirata adalah senilai Rp. 6.000/MWh, sedangkan pada Saguling senilai Rp. 4.000/MWh. Dalam pengerjaan tugas akhir ini, daya terbangkit dari kedua pembangkit ini disamakan dengan realisasi daya terbangkit oleh PLN. Berdasarkan data yang didapat, daya terbangkit Cirata adalah 422 MW sedangkan Saguling adalah 566.93 MW.

Total biaya bahan bakar untuk pembangkit Cirata adalah sebesar Rp. 2.532.000,-/h, sedangkan untuk pembangkit Saguling adalah senilai Rp. 2.267.720,-/h. Total biaya keseluruhan untuk bahan bakar dari pembangkit hidro adalah senilai Rp. 4.799.720/h

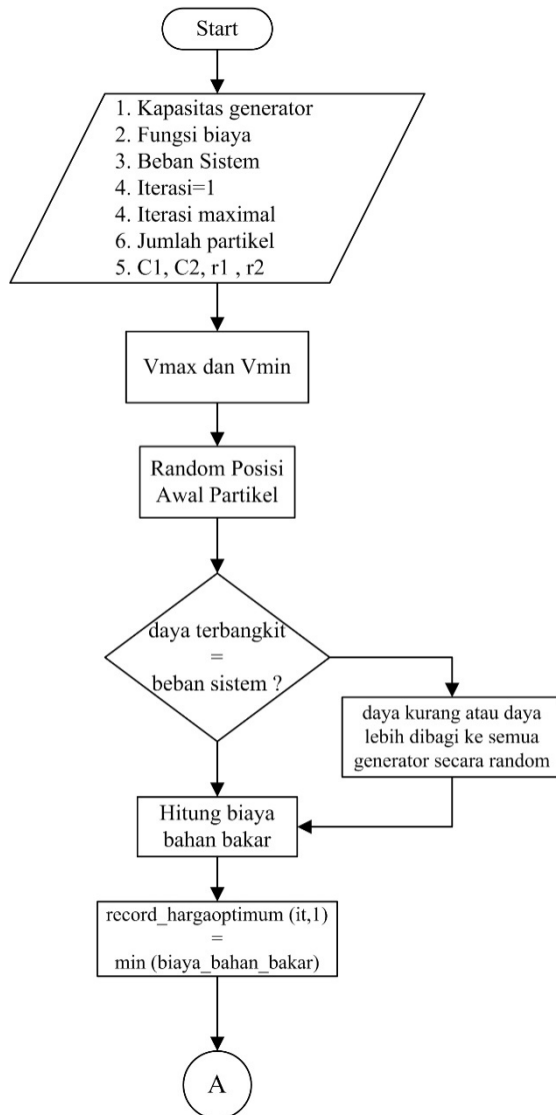
3.3 Penerapan Random Drift Particle Swarm Optimization

Random Drift Particle Swarm Optimization (RDPSO) adalah cabang dari metode *heuristic* yang mengadopsi prinsip gerak electron pada sebuah daerah yang dipengaruhi medan listrik.

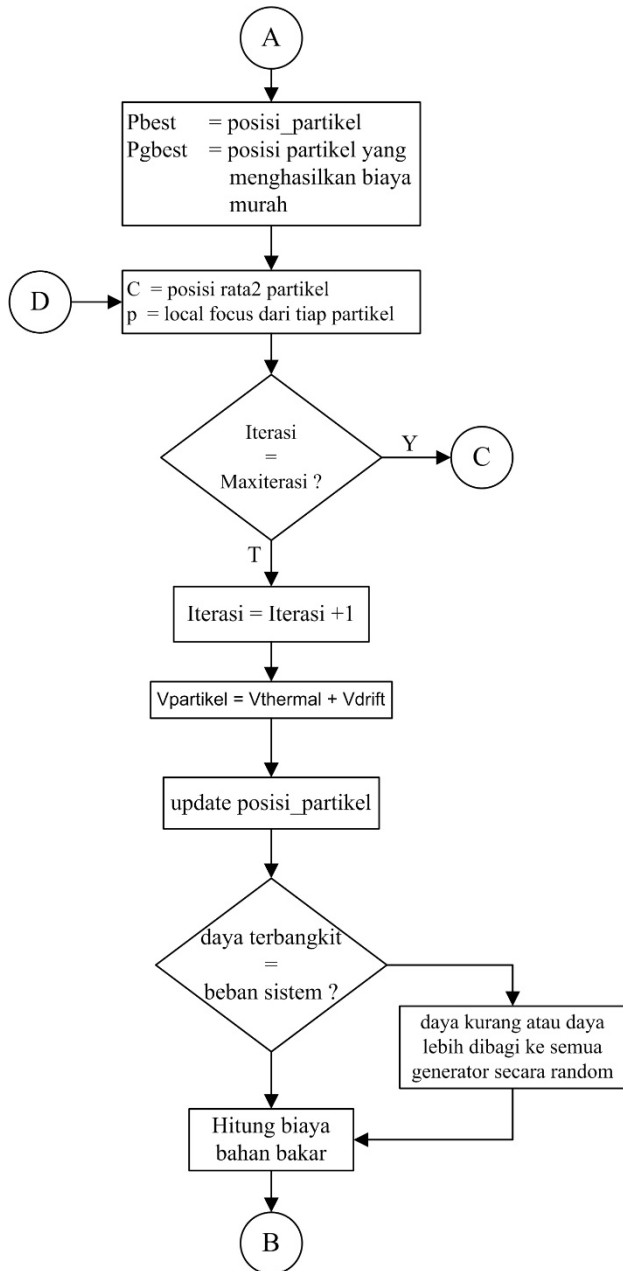
Perbedaan paling mendasar dari PSO dan RDPSO terletak pada formulasi *update* kecepatan partikel. Pada RDPSO, pencarian secara global (explorasi) direpresentasikan sebagai kecepatan thermal ($V_{thermal}$) dari suatu partikel electron. Kecepatan thermal akan membawa elektron pada suatu titik yang potensial energinya paling minim. Hal tersebut dipergunakan dalam tugas akhir ini untuk menentukan pencarian secara global letak biaya bahan bakar paling minimum dari sistem yang dioptimasi.

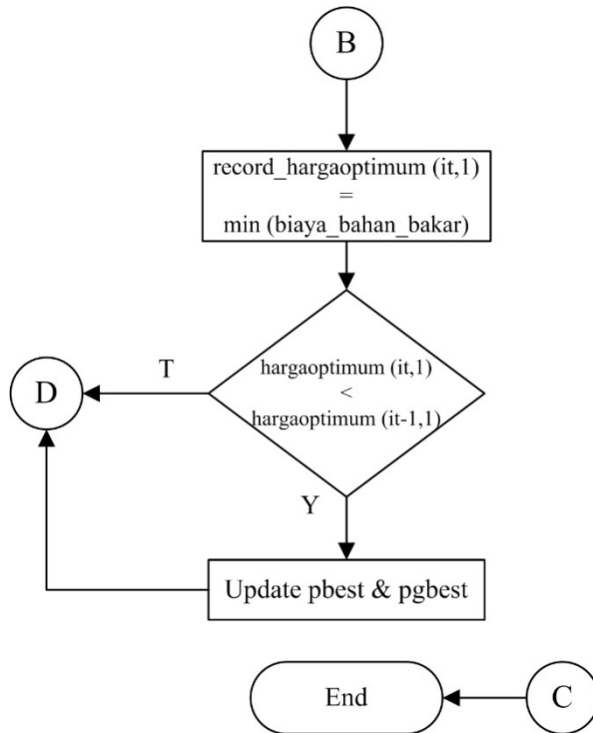
Berikutnya, pencarian lokal (exploitasi) dari metode PSO yang merupakan superposisi antara kecerdasan kognitif dan kecerdasan

sosial partikelnya dimodelkan kedalam kecepatan meluncur (*Vdrift*) yang mengikuti pola distribusi uniform di RDPSO. Berikut dijabarkan flowchart penerapan RDPSO dalam optimasi.



Gambar 3. 2Flowchart Penerapan RDP SO





Pada tugas akhir ini, simulasi RDPSO dilakukan dengan dua keadaan yang berbeda. Keadaan pertama dilakukan dengan jumlah partikel sebanyak 100 buah dengan iterasi maximal sebanyak 200 kali. Keadaan kedua dilakukan dengan jumlah partikel sebanyak 20 buah dengan iterasi maximal sebanyak 1000 kali.

3.4 Parameter RDPSO

Program RDPSO dalam tugas akhir ini mempunyai beberapa parameter, diantara lain:

- Jumlah partikel : 100 dan 20 partikel
- Maximal iterasi : 200 dan 1000 iterasi
- Beban sistem : 11.363,4 MW
- Beban2 : 10.374,47 MW (beban yang ditanggung pembangkit termal)

- Pbest : posisi terbaik tiap partikel tiap iterasi
- Pgbest : posisi terbaik antara semua partikel di iterasi
- Alfa : 0,9 turun sampai 0,3 di akhir iterasi
- Beta : 1,45

3.5 Realisasi PLN

Pada tugas akhir ini, simulasi optimasi yang dilakukan dengan menggunakan metode RDPSO akan dibandingkan dengan realisasi biaya bahan bakar yang dibeli oleh PLN. Berdasarkan data yang didapat dari P2B Gandul, Cinere, pembebanan generator dan realisasi biayanya ditunjukkan di dalam tabel 3.7 berikut.

Tabel 3. 7 Realisasi daya terbangkit dan biaya oleh PLN

Unit Pembangkit	Realisasi Daya		Biaya Realisasi
	MW	Mvar	
Suralaya	2.766	1.144	Rp. 563.153.422,980
Muara Tawar	767	244.4	Rp. 440.749.124,900
Cirata	422	141	Rp. 2.532.000,00
Saguling	566.93	111.71	Rp. 2.267.000,00
Tanjung Jati	2230	201	Rp. 402.981.020,27
Gresik	515.16	157.34	Rp. 703.029.124,28
Paiton	4.038.1	715.06	Rp. 682.902.605,36
Grati	764	100.05	Rp. 322.883.800,50
Total	12.069,19	2.814,56	Rp. 3.120.498.818,28

Berdasarkan tabel 3.7 di atas, total daya terbangkit oleh PLN adalah sebesar 12.069,19 MW, padahal kebutuhan beban hanya sebesar 11.363,42 MW, sehingga rugi – rugi yang terjadi di saluran adalah sebesar 705,77 MW.

BAB 4

HASIL SIMULASI DAN ANALISIS

4.1 Simulasi Pertama

Pada tugas akhir ini, hasil simulasi RDPSO akan dibandingkan dengan biaya realisasi oleh PLN serta metode optimasi PSO. Untuk simulasi yang pertama, partikel yang digunakan sebanyak 100 partikel dan sebanyak 200 iterasi.

4.1.1 Simulasi Pertama Metode PSO

Simulasi optimasi pembebanan pembangkit (*power system economic dispatch*) pada sistem interkoneksi Jawa Bali 500 kV menggunakan metode Particle Swarm Optimization (PSO) menghasilkan biaya sebesar Rp. 3.100.270.660,222/h. Daya terbangkit totalnya adalah sebesar 11.671,845 MW. Rugi – rugi transmisi di jaringan sebesar 308,445 MW. Optimasi dengan metode ini membutuhkan waktu selama 3,36 detik. Hasil simulasi lengkapnya ditunjukkan pada tabel 4.1 berikut.

Tabel 4. 1 Hasil Simulasi Pertama Metode PSO

No	Nama Pembangkit	Daya Aktif (MW)
1	Suralaya	1.716,898
2	Muaratawar	550
3	Tanjung Jati	2.637,8
4	Gresik	973
5	Paiton	4.055
6	Grati	750,2
7	Cirata	422
8	Saguling	566,93
Total Daya (MW)		1.1671,845

Rugi – rugi (MW)	308,445
Biaya Total (Rp/h)	Rp. 3.100.270.660,222
Elapsed time	3,36 detik

1.1.2 Simulasi Pertama RDPSO

Simulasi optimasi pembebanan pembangkit (*power system economic dispatch*) pada sistem interkoneksi Jawa Bali 500 kV menggunakan metode RDPSO menghasilkan biaya bahan bakar sebesar Rp. 3.100.270.656,466/h. Daya terbangkit totalnya adalah sebesar 11.671,845 MW. Rugi – rugi transmisi di jaringan sebesar 308,445 MW. Optimasi dengan metode ini membutuhkan waktu selama 9,8 detik. Hasil simulasi lengkapnya ditunjukkan pada tabel 4.2 berikut.

Tabel 4. 2 Hasil Simulasi Pertama Metode RDPSO

No	Nama Pembangkit	Daya Aktif (MW)
1	Suralaya	1.716,9
2	Muaratawar	549,99
3	Tanjung Jati	2.637,8
4	Gresik	973
5	Paiton	4.055
6	Grati	750,19
7	Cirata	422
8	Saguling	566,93

Total Daya (MW)	11.671,845
Rugi – rugi (MW)	308,445
Biaya Total (Rp/h)	Rp. 3.100.270.656,466
Elapsed time	9.8 detik

4.1.3 Analisis dan Perbandingan

Perbandingan antara realisasi PLN, optimasi metode PSO, dan optimasi metode RDPSO pada sistem kelistrikan interkoneksi Jawa Bali 500 kV dapat dilihat di tabel 4.3. Berdasarkan tabel tersebut dapat kita ketahui bahwa dengan beban yang sama, yakni 11.363,42 MW, hasil simulasi pertama dengan metode RDPSO lebih optimum dari pada realisasi PLN ataupun optimasi metode PSO.

Secara biaya, RDPSO mampu menghemat biaya bahan bakar sebesar Rp.20.228.161,814/ h, atau sekitar 0,65% dari realisasi PLN. Sedangkan apabila dibandingkan terhadap metode optimasi PSO, RDPSO lebih murah sekitar Rp. 3,755 / h.

Berikutnya jika dibandingkan besarnya nilai rugi – rugi, rugi – rugi realisasi PLN menduduki nilai yang paling besar. Rugi – rugi yang dihasilkan PLN mencapai 705,77 MW. Sedangkan RDPSO dan PSO berada di kisaran 308,45 MW.

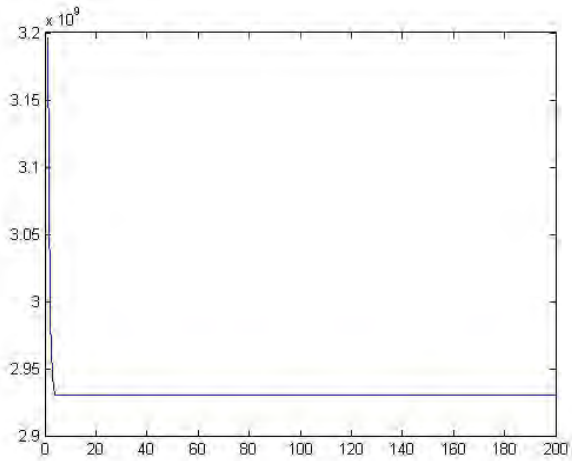
Disisi lain, waktu tempuh untuk menyelesaikan simulasi metode, optimasi RDPSO lebih lama dibandingkan metode PSO. Selisih waktu tempuh diantara kedua metode ini berkisar 3,8 detik. Dapat disimpulkan dari hal ini bahwa PSO sangat cepat dalam menentukan titik optimum suatu sistem. Tapi, walaupun RDPSO lebih lama dalam menyelesaikan simulasi, metode RDPSO lebih baik dalam menentukan titik paling optimum dari suatu sistem.

Tabel 4. 3 Perbandingan Hasil Simulasi Pertama

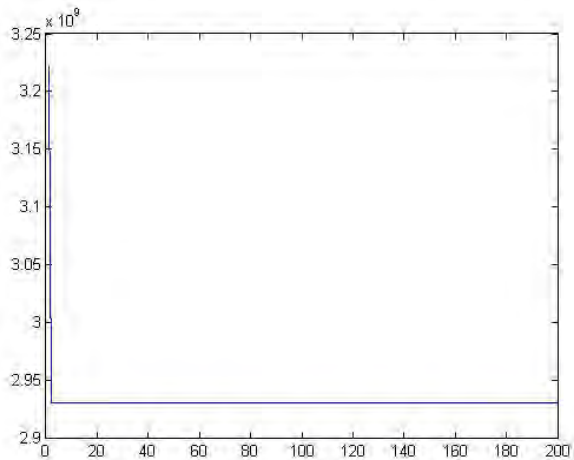
No	Pembangkit	PLN	PSO	RDPSO
		MW	MW	MW

1	Suralaya	2.766	1.716,898	1.716,898
2	Muara Tawar	767	550	549,99
3	Tanjung Jati	2.230	2.637,8	2.637,8
4	Gresik	515.16	973	973
5	Paiton	4.038,1	4.055	4.055
6	Grati	764	750,2	750,19
7	Cirata	422	422	422
8	Saguling	566.93	566.93	566.93
Elapsed Time (s)		-	3,36	9,80
Total daya (MW)		12.069,19	11.671,845	11.671,845
Rugi - rugi		705,7655	308,445	308,445
Biaya Total (Rp/h)		PLN	Rp. 3.120.498.818,28	
		PSO	Rp. 3.100.270.660,222	
		RDPSO	Rp. 3.100.270.656,466	

Grafik konvergensi kedua metode PSO ditunjukkan oleh gambar 4.1 dan grafik konvergensi metode RDPSO ditunjukkan oleh gambar 4.2 berikut ini.



Gambar 4. 1 Grafik Konvergensi Simulasi Pertama PSO



Gambar 4. 2 Grafik Konvergensi Simulasi Pertama RDPSO

4.1.4 Analisa Kesesuaian Terhadap Kapasitas Transmisi

Untuk menganalisa apakah arus yang mengalir di saluran *overcurrent* atau tidak, kita lakukan perhitungan terhadap arus yang mengalir di saluran dengan membagi drop tegangan antar bus terhadap impedansinya. Tabel 4.4 menjelaskan arus yang mengalir di saluran beserta kapasitas masing – masing salurannya. Apabila besarnya arus yang mengalir masih dibawah delapan puluh persen kapasitas saluran, maka dapat dikatakan saluran tersebut aman.

Status peringatan terjadi ketika arus yang mengalir pada saluran ini melebihi delapan puluh persen kapasitas saluran. Namun arus yang mengalir tidak sampai mengakibatkan *overcurrent*.

Berdasarkan perhitungan yang telah dilakukan, hampir semua saluran berada dalam keadaan aman. Namun, arus yang mengalir di saluran antara bus 12 dan 26 yakni antara bus Bandung Selatan dan Ujung Berung berada dalam status peringatan tapi tidak *overcurrent*

Tabel 4. 4 Kapasitas dan Besarnya Arus Mengalir Saluran

Bus Asal	Bus Tujuan	Tipe Saluran	Jumlah Saluran	Kapasitas Saluran	Arus Mengalir di Saluran	Status Saluran
1	2	Gannet	2	4,8	0,605	Aman
	25	Dove	2	3,96	1,360	Aman
2	5	Gannet	1	2,4	0,413	Aman
3	4	Gannet	2	4,8	0,197	Aman
4	18	Dove	2	3,96	0,189	Aman
5	7	Dove	1	1,98	0,860	Aman
	8	Dove	1	1,98	0,350	Aman
	11	Gannet	2	4,8	0,983	Aman
6	7	Dove	1	1,98	0,119	Aman

	8	Dove	1	1,98	0,676	Aman
8	9	Dove	2	3,96	0,296	Aman
9	10	Dove	2	3,96	1,065	Aman
10	11	Dove	2	3,96	1,335	Aman
11	12	Gannet	2	4,8	1,799	Aman
12	13	Gannet	1	2,4	0,236	Aman
	26	Gannet	1	2,4	2,081	Peringatan
13	14	Dove	2	3,96	2,662	Aman
13	26	Dove	1	1,98	0,847	Aman
14	15	Dove	2	3,96	2,842	Aman
	16	Dove	1	1,98	1,053	Aman
	20	Dove	1	1,98	0,810	Aman
16	17	Dove	2	3,96	1,429	Aman
	23	Gannet	2	4,8	2,077	Aman
18	5	Dove	2	3,96	0,605	Aman
	19	Dove	2	3,96	0,950	Aman
19	20	Gannet	2	4,8	1,251	Aman
20	21	Gannet	2	4,8	1,314	Aman
21	22	Gannet	2	4,8	2,106	Aman
22	23	Gannet	2	4,8	1,729	Aman
24	14	Dove	1	1,98	0,432	Aman
	16	Dove	1	1,98	1,105	Aman

25	4	Dove	2	3.96	0,652	Aman
----	---	------	---	------	-------	------

4.2 Simulasi Kedua

Hampir sama dengan simulasi pertama, simulasi kedua dilakukan dengan jumlah partikel sebanyak 20 buah dan iterasi sebanyak 1.000 kali. Berikutnya, hasil simulasi optimasi dari PSO dan RDPSO dibandingkan bersama realisasi pembangkitan oleh PLN.

4.2.1 Simulasi Kedua PSO

Simulasi kedua optimasi pembebanan pembangkit (*power system economic dispatch*) pada sistem interkoneksi Jawa Bali 500 kV menggunakan metode Particle Swarm Optimization (PSO) menghasilkan biaya sebesar Rp. 3.100.270.660,222/h. Daya terbangkit totalnya adalah sebesar 11.671,845 MW. Rugi – rugi transmisi di jaringan sebesar 308,445 MW. Optimasi dengan metode ini membutuhkan waktu selama 8,495detik.

Simulasi kedua metode ini menghasilkan nilai yang sama sebagaimana yang dilakukan di simulasi pertama. Perbedaannya hanya terletak di *elapsed time*-nya saja. *Elapsed time* pada simulasi ini menjadi lebih lama dikarenakan iterasi maximal meningkat menjadi sepuluh kali lipat. Hasil simulasi lengkapnya ditunjukkan pada tabel 4.5 berikut.

Tabel 4. 5 Hasil Simulasi Kedua Metode PSO

No	Nama Pembangkit	Daya Aktif (MW)
1	Suralaya	1.716.898
2	Muaratawar	550
3	Tanjung Jati	2.637,8
4	Gresik	973
5	Paiton	4.055
6	Grati	750,2

7	Cirata	422
8	Saguling	566,93
Total Daya (MW)		11.671,845
Rugi – rugi (MW)		308,445
Biaya Total (Rp/h)		Rp. 3.100.270.660,222
Elapsed time (detik)		8,495

4.2.2 Simulasi Kedua RDPSO

Simulasi kedua optimasi pembebanan pembangkit pada sistem Jawa Bali 500 kV menggunakan metode RDPSO menghasilkan biaya bahan bakar sebesar Rp. 3.100.270.376,466/h. Daya terbangkit totalnya adalah sebesar 11.671,845 MW. Rugi – rugi transmisi di jaringan sebesar 308,445 MW. Optimasi ini membutuhkan waktu selama 11.644 detik.

Tabel 4. 6 Hasil Simulasi Kedua RDPSO

No	Nama Pembangkit	Daya Aktif (MW)
1	Suralaya	1.716.898
2	Muaratawar	549,999
3	Tanjung Jati	2.637,799
4	Gresik	973
5	Paiton	4.055
6	Grati	750,199
7	Cirata	422
8	Saguling	566,93

Total Daya (MW)	11671,845
Rugi – rugi (MW)	308,445
Biaya Total (Rp/h)	Rp. 3.100.270.656,466
Elapsed time (detik)	11,644

4.2.3 Analisis dan Perbandingan

Perbandingan antara realisasi PLN, optimasi metode PSO, dan optimasi metode RDPSO pada simulasi kedua sistem kelistrikan interkoneksi Jawa Bali 500 kV dapat dilihat di tabel 4.7 berikut. Berdasarkan tabel tersebut, kita dapat mengetahui bahwa dengan beban yang sama, yakni 11.363,42 MW, hasil simulasi kedua dengan metode RDPSO masih lebih optimum dari pada realisasi PLN ataupun optimasi metode PSO.

Tabel 4. 7 Perbandingan Hasil Simulasi Kedua

No	Pembangkit	Realisasi	PSO	RDPSO
		MW	(MW)	MW
1	Suralaya	2.766	1.716.898	1.716.898
2	Muara Tawar	767	550	549,999
3	Tanjung Jati	2.230	2.637,8	2.637,799
4	Gresik	515,16	973	973
5	Paiton	4.038,1	4.055	4.055
6	Grati	764	750,2	750,199
7	Cirata	422	422	422

8	Saguling	566,93	566,93	566,93
Elapsed Time (s)		-	8,495	11,644
Total daya (MW)		12.069,19	11.671,845	11.671,845
Losses		705,7655	308,445	308,445
Biaya Total (Rp/h)		PLN	Rp. 3.120.498.818,28	
		PSO	Rp. 3.100.270.660,222	
		RDPSO	Rp. 3.100.270.656,466	

Secara biaya, RDPSO mampu menghemat biaya bahan bakar sebesar Rp.20.228.161,814 / h, atau sekitar 0,65% dari realisasi PLN. Sedangkan apabila dibandingkan terhadap metode optimasi PSO, RDPSO lebih murah sekitar Rp. 3,756 / h, padasimulasi pertama selisih kedua metode ini adalah sebesar Rp. 3,756 / h. Selisih meningkat Rp. 0,000374 /h pada simulasi kedua ini. Hal yang bisa kita simpulkan RDPSO mampu menemukan titik yang sedikit lebih baik dari simulasi kedua.

Berikutnya jika dibandingkan besarnya nilai rugi – rugi, rugi – rugi realisasi PLN menduduki nilai yang paling besar. Rugi – rugi yang dihasilkan PLN mencapai 705,7655 MW. Sedangkan RDPSO dan PSO berada di kisaran 308,45 MW.

Disisi lain, waktu tempuh untuk menyelesaikan simulasi

metode, optimasi RDPSO lebih lama dibandingkan metode PSO.

Selisih waktu tempuh diantara kedua metode ini berkisar 3,12

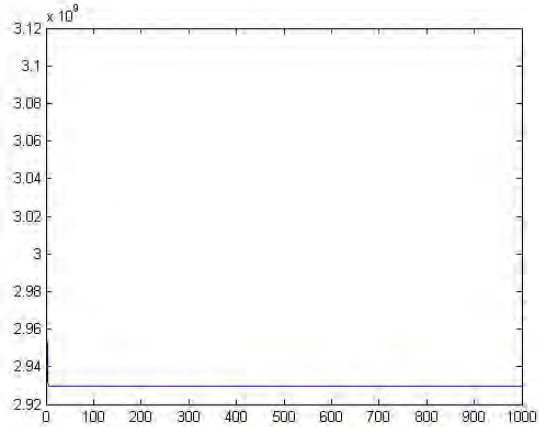
detik. Dapat disimpulkan dari hal ini bahwa PSO sangat cepat

dalam menentukan titik optimum suatu sistem. Tapi, walaupun

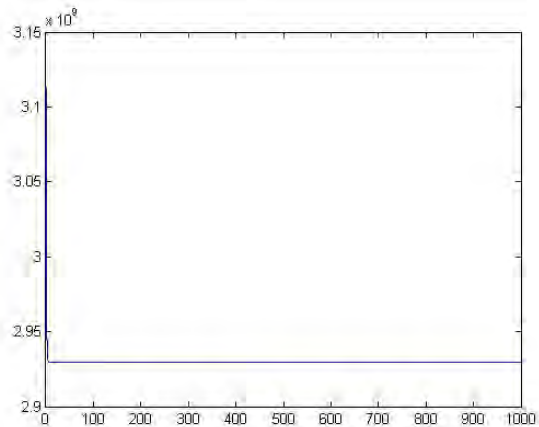
RDPSO lebih lama dalam menyelesaikan simulasi, metode

RDPSO lebih baik dalam menentukan titik paling optimum dari

suatu sistem. Gambar 4.3 dan gambar 4.4 menunjukkan grafik konvergensi dari PSO dan RDPSO pada simulasi kedua ini.



Gambar 4. 3 Grafik Konvergensi Simulasi Kedua PSO



Gambar 4. 4 Grafik Konvergensi Simulasi Kedua RDPSO

4.2.4 Analisa Kesesuaian Terhadap Kapasitas Transmisi

Untuk menganalisa apakah arus yang mengalir di saluran *overcurrent* atau tidak, kita lakukan perhitungan terlebih dahulu arus yang mengalir disana dengan membagi drop tegangan antar bus dengan impedansinya. Tabel 4.8 menjelaskan arus yang mengalir di saluran beserta kapasitas masing – masing salurannya. Apabila besarnya arus yang mengalir masih dibawah delapan puluh persen kapasitas saluran, maka dapat dikatakan saluran tersebut aman dari gangguan *overcurrent*.

Status peringatan terjadi ketika arus yang mengalir pada saluran ini melebihi delapan puluh persen kapasitas saluran. Namun arus yang mengalir tidak sampai mengakibatkan *overcurrent*.

Berdasarkan perhitungan yang telah dilakukan, semua saluran tidak mengalami *overcurrent*. Namun, arus yang mengalir di saluran antara bus 12 dan 26 berada dalam status peringatan.

Pada dasarnya pengkuran kapasitas transmisi yang dilakukan pada sistem Jawa – Bali 500 kV pada simulasi kedua tidak menunjukkan perbedaan hasil karena perubahan nilainya kecil. Selisih harga dari Metode RDPSO ini hanya senilai Rp. 0,000374/h.

Tabel 4. 8 Kapasitas dan Besarnya Arus Mengalir Saluran

Bus Asal	Bus Tujuan	Tipe Saluran	Jumlah Saluran	Kapasitas Saluran	Arus Mengalir di Saluran	Status Saluran
1	2	Gannet	2	4,8	0,606	Aman
	25	Dove	2	3,96	1,361	Aman
2	5	Gannet	1	2,4	0,413	Aman
3	4	Gannet	2	4,8	0,197	Aman
4	18	Dove	2	3,96	0,189	Aman

5	7	Dove	1	1,98	0,860	Aman
	8	Dove	1	1,98	0,350	Aman
	11	Gannet	2	4,8	0,983	Aman
Bus Asal	Bus Tujuan	Tipe Saluran	Jumlah Saluran	Kapasitas Saluran	Arus Mengalir di Saluran	Status Saluran
6	7	Dove	1	1,98	0,119	Aman
	8	Dove	1	1,98	0,676	Aman
8	9	Dove	2	3,96	0,296	Aman
9	10	Dove	2	3,96	1,065	Aman
10	11	Dove	2	3,96	1,335	Aman
11	12	Gannet	2	4,8	1,799	Aman
12	13	Gannet	1	2,4	0,236	Aman
	26	Gannet	1	2,4	2,081	Peringatan
13	14	Dove	2	3,96	2,660	Aman
13	26	Dove	1	1,98	0,847	Aman
14	15	Dove	2	3,96	2,842	Aman
	16	Dove	1	1,98	1,053	Aman
	20	Dove	1	1,98	0,810	Aman
16	17	Dove	2	3,96	1,429	Aman
	23	Gannet	2	4,8	2,077	Aman
18	5	Dove	2	3,96	0,605	Aman
	19	Dove	2	3,96	0,950	Aman

19	20	Gannet	2	4,8	1,250	Aman
20	21	Gannet	2	4,8	1,314	Aman
21	22	Gannet	2	4,8	2,106	Aman
Bus Asal	Bus Tujuan	Tipe Saluran	Jumlah Saluran	Kapasitas Saluran	Arus Mengalir di Saluran	Status Saluran
22	23	Gannet	2	4,8	1,729	Aman
24	14	Dove	1	1,98	0,432	Aman
	16	Dove	1	1,98	1,105	Aman
25	4	Dove	2	3,96	0,652	Aman

BAB 5

PENUTUP

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil simulasi optimasi pembebanan pembangkit (*Economic Dispatch*) menggunakan metode *Random Drift Particle Swarm Optimization* (RDPSO) pada sistem interkoneksi Jawa – Bali 500 kV, dapat disimpulkan beberapa hal yaitu:

1. *Economic dispatch* dengan menggunakan metode RDPSO menghasilkan biaya bahan bakar sebesar Rp. 3.100.270.656,466 untuk mencukupi kebutuhan beban sebesar 11.363,4 MW
2. *Economic dispatch* dengan metode RDPSO menghasilkan biaya yang lebih murah Rp. 20.228.161,814 / h, atau sekitar 0,65 % dari realisasi PLN
3. Hasil kombinasi daya yang dihasilkan dari *Economic Dispatch* metode RDPSO tidak menyebabkan *overcurrent* di semua saluran transmisi Jawa – Bali 500 kV
4. *Economic dispatch* dengan metode RDPSO menghasilkan biaya yang lebih murah Rp. 3,756 / h daripada metode PSO.
5. *Economic Dispatch* dengan metode RDPSO mampu mencapai titik konvergen pada iterasi yang lebih kecil daripada metode PSO. Hal ini membuktikan bahwa konvergensi metode RDPSO lebih cepat daripada metode PSO.
6. *Elapsed time* simulasi metode RDPSO lebih besar daripada metode PSO. Hal ini terjadi karena dalam tiap iterasi, proses eksekusi perintahnya lebih banyak daripada metode PSO.
7. *Elapsed time* dan iterasi untuk konvergen pada simulasi pertama nilainya lebih kecil dari iterasi kedua. Hal ini disebabkan jumlah partikel yang digunakan pada simulasi pertama lima kali lebih banyak daripada simulasi kedua.

Daftar Pustaka

- [1] Jizhong, “*Optimization of Power System Operation Principal Engineer*,” AREVA T & D Inc. Redmond, WA, USA, IEEE series of Power Engineering, 2009
- [2] PT PLN, “*Statistik PLN 2014*” Sekretariat Perusahaan PLN. 2015
- [3] PT PLN, “*Laporan Keberlanjutan*.” Sekretariat Perusahaan PLN. 2015
- [4] Budi Santosa, “*Tutorial Particle Swarm Optimization*”, Jurusan Teknik Industri FTI-ITS.
- [5] Allen J. Wood & Bruce F. Wollenberg, “*Power Generation Operation and Control 2nd edition*,” John Wiley & Sons, Inc. 1996.
- [6] H. Saadat, “*Power System Analysis*”, McGraw Hill, Singapore, 2004
- [7] Y. Shi dan R. C. Eberhart, “*A modified particle swarm optimizer*,” in Proc. IEEE Int. Conf. Evol. Comput, 1998.
- [8] Jun Sun, “*Solving The Power Economic Dispatch Problem With Generator Constraint by Random Drift Particle Swarm Optimization*,” IEEE Transaction Industrial Informatic. Vol 10, 2014.

Biografi Penulis



Khalid Abri, lahir di Situbondo 14 Januari 1994. Anak pertama dari dua bersaudara. Pendidikan dasar diambil di SDN Ketapang 1 Probolinggo. Berikutnya hijrah ke SMPN 1 Probolinggo dan menyelesaikan pendidikannya pada tahun 2009. Pada tahun 2012, resmi menyelesaikan pendidikan menengah tingkat atas di SMAN 1 Probolinggo. Semasa di SMA aktif sebagai pengurus OSIS sub sie Supply dan Logistic. Selepas SMA melanjutkan pendidikan S1 Reguler Jurusan Teknik Elektro ITS melalui jalur SNMPTN tulis. Semasa kuliah aktif sebagai Ketua Himatektro ITS periode 2014 – 2015 dan Menteri Koordinator Berani Ekspansi BEM ITS 2015 – 2016.