TUGAS AKHIR – TE 141599

PENGGUNAAN *RANDOM DRIFT PARTICLE SWARM OPTIMIZATION* (RDPSO) *ALGORITHM* PADA *ECONOMIC DISPATCH* MEMPERTIMBANGKAN PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA ANGIN UNTUK PENGURANGAN EMISI

Mikhael Vidi Santoso
NRP 2212100151

Dosen Pembimbing
Dr. Eng. Rony Seto Wibowo, ST., MT.
Prof. Dr. Ir. Adi Soeprijanto, MT.

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

FINAL PROJECT – TE 141599

USING OF RANDOM DRIFT PARTICLE SWARM OPTIMIZATION (RDPSO) ALGORITHM ON ECONOMIC DISPATCH CONSIDERING WIND ELECTRICAL POWER FOR EMISSION REDUCTION

Mikhael Vidi Santoso
NRP 2212100151

Advisor
Dr. Eng. Rony Seto Wibowo, ST., MT.
Prof. Dr. Ir. Adi Soeprijanto, MT.

ELECTRICAL ENGINEERING DEPARTMENT
Faculty of Industrial Technology
Sepuluh Nopember Institute of Technology
Surabaya 2016

PENGGUNAAN RANDOM DRIFT PARTICLE SWARM OPTIMIZATION (RDPSO) ALGORITHM PADA ECONOMIC DISPATCH MEMPERTIMBANGKAN PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA ANGIN UNTUK PENGURANGAN EMISI

TUGAS AKHIR

Diajukan untuk 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
Dr. Eng. Rony Seto W., ST., MT.	**Prof. Dr. Ir. Adi Soeprijanto, MT.**
NIP: 19741129 2000121001	**NIP: 196404051990021001**

SURABAYA
JUNI, 2016

LEMBAR PERNYATAAN
PERSETUJUAN PUBLIKASI KARYA ILMIAH
UNTUK KEPENTINGAN AKADEMIS

Sebagai mahasiswa Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya, yang bertanda tangan di bawah ini saya :

Nama : Mikhael Vidi Santoso

Nrp. : 2212100151

Jurusan / Fak. : Teknik Elektro / FTI

Alamat kontak : Wisma Permai Tengah 9 JJ 28, Mulyosari

a. Email : mikhaelvidi@gmail.com

b. Telp/HP : 081291675857

Menyatakan bahwa semua data yang saya *upload* di Digital Library ITS merupakan hasil final (revisi terakhir) dari karya ilmiah saya yang sudah disahkan oleh dosen penguji. Apabila dikemudian hari ditemukan ada ketidaksesuaian dengan kenyataan, maka saya bersedia menerima sanksi.

Demi perkembangan ilmu pengetahuan, saya menyetujui untuk memberikan **Hak Bebas Royalti Non-Ekslusif *(Non-Exclusive Royalti-Free Right)*** kepada Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya atas karya ilmiah saya yang berjudul :

Penggunaan Random Drift Particle Swarm Optimization (RDPSO) Algorithm pada Economic Dispath Mempertimbangkan Pembangkit Listrik Tenaga Angin untuk Pengurangan Emisi

Dengan Hak Bebas Royalti Non-Ekslusif ini, Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya berhak menyimpan, mengalih-media format-kan, mengelolanya dalam bentuk pangkalan data *(database)*, mendistribusikannya, dan menampilkan mempublikasikannya di internet atau media lain untuk kepentingan akademis tanpa meminta ijin dari saya selama tetap mencantumkan nama saya sebagai penulis pencipta. Saya bersedia menanggung secara pribadi, segala bentuk tuntutan hukum yang timbul atas pelanggaran Hak Cipta dalam karya Ilmiah saya ini tanpa melibatkan pihak Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya.

Demikian pernyataan ini saya buat dengan sebenarnya.

Dibuat di : Surabaya

Pada tanggal : 27 Juni 2016

Yang menyatakan,

Mikhael Vidi Santoso

Nrp. 2212100151

Dosen Pembimbing 1

Dr. Eng. Rony Seto Wibowo, ST., MT.

NIP. 19741129 2000121001

KETERANGAN :

Tanda tangan pembimbing wajib dibubuhi stempel jurusan.

Form dicetak dan diserahkan di bagian Pengadaan saat mengumpulkan hard copy TA/Tesis/Disertasi.

PENGGUNAAN RANDOM DRIFT PARTICLE SWARM OPTIMIZATION (RDPSO) ALGORITHM PADA ECONOMIC DISPATCH MEMPERTIMBANGKAN PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA ANGIN UNTUK PENGURANGAN EMISI

Mikhael Vidi Santoso
2212100151

Dosen Pembimbing I : Dr. Eng. Rony Seto Wibowo, ST., MT.
Dosen Pembimbing II : Prof. Dr. Ir. Adi Soeprijanto, MT.

Abstrak

Teknik optimasi adalah sebuah perlakuan untuk meningkatkan nilai efektivitas dan efisiensi pada suatu sistem industri dan untuk mendapatkan tujuan yang optimal dari sebuah sistem itu sendiri. Teknik optimasi sendiri digunakan banyak di sektor industri, khususnya di bidang industri energi, dimana sektor industri lainnya, seperti manufaktur, transportasi, dan telekomunikasi, termasuk di dalamnya. Sebagai pengguna teknik optimasi dalam jangka waktu yang cukup lama, industri energi menghadapi berbagai macam isu, seperti perubahan iklim, pemanfaatan jaringan dan keandalan, pembangunan ulang suatu sistem, dan masih banyak lagi. Teknik optimasi membantu perusahaan-perusahaan di bidang energi melewati isu-isu tersebut dengan cara yang lebih baik dan keputusan-keputusan yang lebih cepat. Economic Dispatch (ED) adalah salah satu permasalahan utama bagi perusahaan-perusahaan energi. *Economic dispatch (ED)* merupakan hal penting dalam kontrol dan operasi pada sistem tenaga. Pada Tugas Akhir ini, metode yang ditawarkan merupakan metode modifikasi dari Particle Swarm Optimization, yaitu Random Drift Particle Swarm Optimization (RDPSO) Algorithm. RDPSO dapat menghasilkan biaya yang lebih hemat hingga sebesar 0,15% dan mencapai nilai konvergensi lebih cepat 78%.

Kata kunci: *Random Drift Particle Swarm Optimization, Economic Dispatch, Emission*

[Halaman ini sengaja dikosongkan]

USING OF RANDOM DRIFT PARTICLE SWARM OPTIMIZATION (RDPSO) ALGORITHM ON ECONOMIC DISPATCH CONSIDERING WIND ELECTRICAL POWER FOR EMISSION REDUCTION

Mikhael Vidi Santoso
2212100151

Supervisor I : Dr. Eng. Rony Seto Wibowo, ST., MT.
Supervisor II : Prof. Dr. Ir. Adi Soeprijanto, MT.

Abstract

Optimization technique is a treatment to increase the value of efficiency and effectiveness of an industrial system and for obtaining an objective optimal of system. Optimization technique, itself, is used in industrial sector a lot enough, particularly in the fields of energy industry, where other industries sector, such as manufacturing, transportation, and telecommunications, including the provision. As user optimization technique within period of quite long time, energy industry facing a wide range of issues, such as climate change, the use of tissues and reliability, the repeated construction of a system, and many more. Optimization technique helps companies in the field of energy through these issues with a better way and faster decisions. Economic dispatch (or ED) is one of the main problems towards energy companies. Economic dispatch (ED) is essential in control and power system. On this Final Project, the method offered is a method of modification of Particle Swarm Optimization, namely Random Drift Particle Swarm Optimization (RDPSO) Algorithm. RDPSO could produce the power 0.15% more efficient and 78% faster to reach the convergent point.

Key words: *Random Drift Particle Swarm Optimization, Economic Dispatch, Emission*

[Halaman ini sengaja dikosongkan]

DAFTAR ISI

Halaman

HALAMAN JUDUL
LEMBAR KEASLIAN
LEMBAR PENGESAHAN
ABSTRAK i
ABSTRACT iii
KATA PENGANTAR v
DAFTAR ISI vii
DAFTAR GAMBAR xi
DAFTAR TABEL xiii

BAB 1 PENDAHULUAN 1
1.1 Latar belakang 1
1.2 Permasalahan 2
1.3 Batasan Masalah 2
1.4 Tujuan 2
1.5 Metodologi Penelitian 3
1.6 Sistematika penulisan 4
1.7 Relevansi 5

BAB 2 ECONOMIC DISPATCH MEMPERTIMBANGKAN PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA ANGIN UNTUK PENGURANGAN EMISI 7
2.1 *Economic Dispatch* dan Emisi 7
2.1.1 *Economic Dispatch* 8
2.1.2 Emisi 9
2.2 Pembangkit Listrik Tenaga Angin (*Wind Turbine*) 9
2.2.1 Dasar Pembangkit Listrik Tenaga Angin (*Wind Turbine)* 9
2.2.2 Kelebihan dan Kekurangan Pembangkit Listrik Tenaga Angin 10
2.2.3 Penerapan *Wind Turbine* 11
2.2.4 Perhitungan Biaya 12
2.3 Sistem Tenaga Listrik dan Pembangkit Listrik *Thermal* 12

BAB 3 PENERAPAN *RANDOM DRIFT PARTICLE SWARM OPTIMIZATION* PADA *ECONOMIC DISPATCH* MEMPERTIMBANGKAN PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA ANGIN UNTUK PENGURANGAN EMISI 15
3.1 Algoritma *Particle Swarm Optimization* 15
3.1.1 Dasar *Particle Swarm Optimization* 15
3.1.2 Prinsip *Particle Swarm Optimization* 17
3.2 *Random Drift Particle Swarm Optimization* 19
3.3 Penerapan Algoritma *Random Drift Particle Swarm Optimization* pada *Economic Dispatch* 21
3.3.1 Inisialisasi Awal 23
3.3.1.1 Sistem Pembangkit IEEE 23
3.3.1.2 Parameter-Parameter *Random Drift Particle Swarm Optimization* 25
3.3.2 Perhitungan Pembangkit Tenaga Angin atau *Wind Turbine* 26
3.3.3 Penentuan Posisi dan Kecepatan Awal Partikel 26
3.3.4 Perhitungan Biaya Awal, Pbest, dan Gbest 26
3.3.5 Perhitungan *Mean Best Position, Local Focus,* V dan V 26

BAB 4 SIMULASI DAN ANALISIS 29
4.1 Performa Komputasi 29
4.2 Hasil Simulasi 15 Unit Pembangkit IEEE 29
4.2.1 Studi Kasus I 29
4.2.2 Studi Kasus II 32
4.2.3 Studi Kasus III 34
4.3 Hasil Simulasi 6 Unit Pembangkit IEEE 35
4.3.1 Studi Kasus I 35
4.3.2 Studi Kasus II 38
4.3.3 Studi Kasus III 39
4.4 Hasil Percobaan Beberapa Algoritma 40

BAB 5 PENUTUP 45
5.1 Kesimpulan 45
5.2 Saran 45

DAFTAR PUSTAKA 47
LAMPIRAN 49
I *Script* Algoritma *Random Drift Particle Swarm Optimization* 50
II *Script Wind Turbine* 59
III *Script* Emisi 60
IV Data *Wind Turbine* 62
RIWAYAT HIDUP 65

[Halaman ini sengaja dikosongkan]

DAFTAR TABEL

Halaman

Tabel 3.1 Data Batasan Daya 6 Unit Pembangkit IEEE 23
Tabel 3.2 Data Koefisien Biaya 6 Unit Pembangkit IEEE..... 23
Tabel 3.3 Data Batasan Daya 15 Unit Pembangkit IEEE 23
Tabel 3.4 Data Koefisien Biaya 15 Unit Pembangkit IEEE..... 24
Tabel 3.5 Faktor Emisi..... 24
Tabel 4.1 Spesifikasi Komputasi Komputer..... 29
Tabel 4.2 Data Batasan Daya 6 Unit Pembangkit IEEE 29
Tabel 4.3 Data Koefisien Biaya 6 Unit Pembangkit IEEE..... 30
Tabel 4.4 Hasil Perhitungan dengan Algoritma *Particle Swarm Optimization* tanpa *Wind Turbine* 30
Tabel 4.5 Hasil Perhitungan dengan Algoritma *Random Drift Particle Swarm Optimization* tanpa *Wind Turbine* 31
Tabel 4.6 Hasil Perhitungan dengan Algoritma *Random Drift Particle Swarm Optimization* tanpa *Wind Turbine* 32
Tabel 4.7 Hasil Perhitungan dengan Algoritma *Random Drift Particle Swarm Optimization* dengan *Wind Turbine*.... 33
Tabel 4.8 Hasil Perhitungan Emisi pada Setiap Pembangkit pada Algoritma *Random Drift Particle Swarm Optimization* tanpa *Wind Turbine* 34
Tabel 4.9 Hasil Perhitungan Emisi pada Setiap Pembangkit pada Algoritma *Random Drift Particle Swarm Optimization* dengan *Wind Turbine* 35
Tabel 4.10 Data Batasan Daya 15 Unit Pembangkit IEEE 35
Tabel 4.11 Data Koefisien Biaya 15 Unit Pembangkit IEEE..... 36
Tabel 4.12 Hasil Perhitungan dengan Algoritma *Particle Swarm Optimization* tanpa *Wind Turbine* 36
Tabel 4.13 Hasil Perhitungan dengan Algoritma *Random Drift Particle Swarm Optimization* tanpa *Wind Turbine* 37
Tabel 4.14 Hasil Perhitungan dengan Algoritma *Random Drift Particle Swarm Optimization* tanpa *Wind Turbine* 39
Tabel 4.15 Hasil Perhitungan dengan Algoritma *Random Drift Particle Swarm Optimization* dengan *Wind Turbine*.... 40
Tabel 4.16 Hasil Perhitungan Emisi pada Setiap Pembangkit pada Algoritma *Random Drift Particle Swarm Optimization* tanpa *Wind Turbine* 41
Tabel 4.17 Hasil Perhitungan Emisi pada Setiap Pembangkit

pada Algoritma *Random Drift Particle Swarm Optimization* dengan *Wind Turbine* 42
Tabel 4.18 Perbandingan Hasil antar Algoritma 6 Unit Pembangkit IEEE dengan M=100 dan Iterasi=200 [1] 43
Tabel 4.19 Perbandingan Hasil antar Algoritma 15 Unit Pembangkit IEEE dengan M=100 dan Iterasi=200 [1] 44

DAFTAR GAMBAR

Halaman

Gambar 2.1 Kurva Daya Aktual dan Modelnya dari wt10000dd... 11
Gambar 3.1 Populasi mencari makanan 17
Gambar 3.2 Konsep pencarian Pbest dan Gbest dari PSO 19
Gambar 3.3 Diagram Alir *Random Drift Particle Swarm Optimization* 21
Gambar 4.1 Grafik Konvergen PSO – 6 Unit Pembangkit tanpa *Wind Turbine* 31
Gambar 4.2 Grafik Konvergen RDPSO – 6 Unit Pembangkit tanpa *Wind Turbine* 32
Gambar 4.3 Grafik Konvergensi RDPSO – 6 Unit Pembangkit dengan *Wind Turbine* 34
Gambar 4.4 Grafik Konvergensi PSO – 15 Unit Pembangkit ..... tanpa *Wind Turbine* 38
Gambar 4.5 Grafik Konvergensi RDPSO – 15 Unit Pembangkit tanpa *Wind Turbine* 39
Gambar 4.6 Grafik Konvergensi RDPSO 6 Unit Pembangkit dengan *Wind Turbine* 41

[Halaman ini sengaja dikosongkan]

BAB 1
PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Teknik optimasi adalah sebuah perlakuan untuk meningkatkan nilai efektivitas dan efisiensi pada suatu sistem industri dan untuk mendapatkan tujuan yang optimal dari sebuah sistem itu sendiri. Teknik optimasi sendiri digunakan banyak di sektor industri, khususnya di bidang industri energi, dimana sektor industri lainnya, seperti manufaktur, transportasi, dan telekomunikasi, termasuk di dalamnya [1].

Sebagai pengguna teknik optimasi dalam jangka waktu yang cukup lama, industri energi menghadapi berbagai macam isu, seperti perubahan iklim, pemanfaatan jaringan dan keandalan, pembangunan ulang suatu sistem, dan masih banyak lagi. Teknik optimasi membantu perusahaan-perusahaan di bidang energi melewati isu-isu tersebut dengan cara yang lebih baik dan keputusan-keputusan yang lebih cepat. *Economic Dispatch* (ED) adalah salah satu permasalahan utama bagi perusahaan-perusahaan energi. *Economic dispatch (ED)* merupakan hal penting dalam kontrol dan operasi pada sistem tenaga. Fungsi utama dari *economic dispatch* adalah untuk menjadwalkan pembangkitan dari pembangkit yang beroperasi untuk dapat memenuhi kebutuhan beban pada biaya pembangkitan paling minimal [2].

Metode yang ditawarkan merupakan metode modifikasi dari Particle Swarm Optimization, yaitu algoritma *Random Drift Particle Swarm Optimization* (RDPSO). *Random Drift Particle Swarm Optimization* terinspirasi dari elektron bebas yang ditempatkan pada medan elektrik eksternal dan meningkatkan kemampuan dari algoritma *Particle Swarm Optimization* dengan memodifikasi persamaan dasarnya.

Pada Tugas Akhir ini, salah satu hal yang diperhatikan adalah biaya operasi. *Random Drift Particle Swarm Optimization* menawarkan sebuah konsep dengan menghasilkan energi pada biaya operasi yang lebih rendah tetapi hasil yang baik pula. Selain dari biaya operasi, faktor penting lainnya yang tidak bisa dihindarkan, yaitu emisi lingkungan. Pada Pembangkit Tenaga Angin tidak menimbulkan emisi ketika bekerja secara sendiri, tetapi ketika digabungkan dalam sebuah sistem, maka akan muncul beberapa emisi yang dapat mengganggu kestabilan lingkungan. Polusi CO_2, SO_2, dan NO_X harus diminimalkan karena berbahaya bagi lingkungan [3]. Oleh karena itu, penting untuk mempertimbangkan

keberadaan pembangkit tenaga angin dengan biaya dan emisi minimal dalam suatu sistem pembangkit itu sendiri.

1.2 Permasalahan

Berdasarkan latar belakang yang telah dikemukakan di atas, maka dirumuskan permasalahan sebagai berikut:

1. Bagaimana model *Random Drift Particle Swarm Optimization* diterapkan dalam *economic dispatch* dan pengurangan emisi?
2. Bagaimana menentukan pembebanan yang optimal pada pembangkit tenaga angin sehingga kebutuhan beban dapat terpenuhi dengan biaya dan emisi yang paling minimal?

1.3 Batasan Masalah

Untuk mendapatkan hasil penelitian yang terarah dan tidak menyimpang, maka batasan masalah yang diberikan pada tugas akhir ini diberikan sebagai berikut:

1. Perhitungan *economic dispatch* dilakukan pada sistem tenaga listrik IEEE
2. Rugi-rugi pada jaringan transmisi diabaikan
3. Sistem dalam keadaan stabil
4. Perhitungan *Unit Commitment* tidak disertakan
5. Simulasi dilakukan dengan menggunakan software Matlab

1.4 Tujuan

Penulisan buku tugas akhir ini bertujuan untuk:

1. Mengetahui peran algoritma *Random Drift Particle Swarm Optimization* untuk optimasi permasalahan Economic Dispatch pada sistem tenaga listrik
2. Mendapatkan pemodelan seluruh komponen dalam suatu sistem pembangkit tenaga angin secara sistematis
3. Mendapatkan biaya minimal untuk pembangkitan dengan menggunakan metode *Random Drift Particle Swarm Optimization* sebagai alternatif optimasi pada pembangkit tenaga listrik
4. Dapat meminimalkan emisi pada sistem pembangkit dengan menggunakan metode *Random Drift Particle Swarm Optimization*

1.5 Metodologi

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 *economic dispatch*, *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* dari IEEE Januari 2014.
2. Pengumpulan data
   Data yang digunakan meliputi data generator, bus, dan beban. Data generator meliputi nama dan tipe pembangkit, kapasitas maksimum dan minimum pembangkit.
3. Pemodelan Sistem
   Melakukan pemodelan terhadap sistem sehingga dapat diketahui fungsi biaya dan emisi dari pembangkit.
4. Penghitungan dengan menggunakan algoritma *Random Drift Particle Swarm Optimization*
   Melakukan perhitungan terhadap optimalisasi biaya dengan mengaplikasikan algoritma *Random Drift Particle Swarm Optimization* terhadap sistem pembangkit yang ada. *Random Drift Particle Swarm Optimization* terinspirasi dari model elektron bebas suatu metal konduktor yang berada pada pengaruh medan listrik. Berdasarkan hal tersebut, pergerakan dari partikel adalah superposisi dari pergerakan *thermal* dan pergerakan meluncur melalui $p_{i,n}$. 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.

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

Yang mana $C_n^j = \left(\frac{1}{M}\right)\Sigma_{i=1}^{M} Y_{i,n}^j, (1 \leq j \leq N)$ yang disebut sebagai posisi terbaik rata – rata (*mean best position*).

5. Penyusunan Laporan
   Hasil penelitian yang telah dilakukan dilaporkan dalam bentuk laporan tugas akhir. Laporan tersebut berisi metode dan kesimpulan dari penelitian.

1.6 Sistematika Penulisan

Tugas akhir ini disusun dengan format sistematika sebagai berikut:

BAB 1 PENDAHULUAN
Penjelasan tentang latar belakang masalah, perumusan masalah, batas-batas permasalahan, tujuan penelitian, dan relevansi tugas akhir.

BAB 2 ECONOMIC DISPATCH MEMPERTIMBANGKAN PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA ANGIN UNTUK PENGURANGAN EMISI
Pada bab ini membahas tentang *economic dispatch,* sistem pembangkit listrik tenaga angin, dan pengurangan emisi.

BAB 3 PENERAPAN RANDOM DRIFT PARTICLE SWARM OPTIMIZATION PADA ECONOMIC DISPATCH MEMPERTIMBANGKAN PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA ANGIN UNTUK PENGURANGAN EMISI
Pada bab ini membahas tentang penerapan *Random Drift Particle Swarm Optimization* pada *economic dispatch* untuk pengurangan emisi pada pembangkit listrik tenaga angin.

BAB 4 SIMULASI DAN ANALISIS
Pada bab ini membahas analisa hasil optimasi permasalahan *economic dispatch* dan pengurangan emisi dengan mempertimbangkan pembangkit listrik tenaga angin dengan menggunakan metode *Random Drift Particle Swarm Optimization.*

BAB 5 PENUTUP
Pada bab kelima ini berisi kesimpulan dan saran

1.7 Relevansi

Penelitian tugas akhir ini bertujuan sebagai berikut:

1. Mengetahui perhitungan *economic dispatch* dengan menggunakan metode *Random Drift Particle Swarm Optimization*.
2. Dapat dijadikan acuan untuk menentukan daya listrik yang dibangkitkan oleh pembangkit-pembangkit tersebar dengan biaya dan emisi yang minimal.
3. Dapat menjadi referensi bagi mahasiswa lain yang hendak mengambil masalah yang serupa untuk tugas akhir kelak.
4. Dapat menjadi referensi penelitian untuk mengembangkan metode optimasi yang lebih handal.

[Halaman ini sengaja dikosongkan]

BAB 2
ECONOMIC DISPATCH MEMPERTIMBANGKAN PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA ANGIN UNTUK PENGURANGAN EMISI

2.1 *Economic Dispatch* dan Emisi

Economic dispatch adalah salah satu permasalahan penting dalam sektor energi. Sebagai contoh, dalam suatu sistem tenaga listrik kita akan mengatur output dari pembangkit *thermal* dalam suatu periode tertentu. Kita perlu meminimasi total biaya operasi dari generator yang bekerja dengan tetap menjaga keandalan dengan memperhatikan batasan operasi yang muncul. Batasan yang dimaksud merepresentasikan pertimbangan terhadap sistem kerja unit operasi yang utamanya adalah kemampuan generator dan kapasitas transmisi.

Secara traditional permasalahan *economic dispatch* dapat diselesaikan dengan berbagai variasi metode pragramming matematis seperti *lambda-iteration* [4], *base point and participation factors* [4], *interior point* [5], metode gradien [6], dan *dynamical programming method* [7]. Metode – metode ini termasuk metode lama yang tidak efektif bekerja ketika menghadapi sebuah fungsi persaamaan biaya yang tidak linear.

Seiring perkembangan ilmu pengetahuan, metode – metode baru bermunculan. Metode metode baru ini menggunakan basis pencarian random populasi bilangan dan komputasi cerdas dalam memecahkan permasalahan ED. *Genetic algorithms* (GA) [8], *particle swarm optimization* (PSO) [9], *differential evolution* (DE) [10], *evolutionary programming* (EP) [11], *tabu search* (TS) [12], *neural networks* (NN) [13], *ant colony search algorithm* (ACSA) [14], *artificial immune systems* (AIS) [15], *the honey bee colony algorithm* [16], *the firefly algorithm* [17], dan algoritma hybrid [18] adalah contoh produk metode ini.

Particle swarm optimization (PSO) adalah salah satu metode programming matematis yang dirumuskan oleh Kennedy dan Eberhart sebagai teknik optimasi berbasis populasi. Tidak seperti algoritma nonlinear pada umumnya, PSO terinpirasi oleh perilaku social kawanan burung atau kawanan ikan. Dalam dekade terakhir, popularitas metode PSO meningkat dikarenakan keefektifannya dalam menyelesaikan kompleksitas optimasi dengan biaya komputasi yang murah.

RDPSO terinspirasi dari model elektron bebas sebuah metal konduktor yang berada pada medan listrik. RDPSO mengembangkan kemampuan pencarian dari algoritma PSO dengan memodifikasi secara mendasar pembaharuan *particle velocity* persamaan. Metode ini mudah untuk diimplementasikan dan memiliki performansi yang stabil.

Pada proposal Tugas Akhir ini, metode yang ditawarkan merupakan metode modifikasi dari *Particle Swarm Optimization*, yaitu *Random Drift Particle Swarm Optimization* (RDPSO) Algorithm. RDPSO terinspirasi dari elektron bebas yang ditempatkan pada medan elektrik eksternal dan meningkatkan kemampuan dari PSO Algorithm dengan memodifikasi persamaan dasarnya.

Salah satu hal yang diperhatikan adalah biaya operasi. RDPSO menawarkan sebuah konsep dengan menghasilkan energi pada biaya operasi yang lebih rendah tetapi hasil yang baik pula. Selain dari biaya operasi, faktor penting lainnya yang tidak bisa dihindarkan, yaitu emisi lingkungan. Pada Pembangkit Tenaga Angin tidak menimbulkan emisi ketika bekerja secara sendiri, tetapi ketika digabungkan dalam sebuah sistem, maka akan muncul beberapa emisi yang dapat mengganggu kestabilan lingkungan. Polusi CO_2, SO_2, dan NO_X harus diminimalkan karena berbahaya bagi lingkungan. Oleh karena itu, penting untuk mempertimbangkan keberadaan pembangkit tenaga angin dengan biaya dan emisi minimal dalam suatu sistem pembangkit itu sendiri.

2.1.1 *Economic Dispatch*

Economic dispatch merupakan pembagian pembebanan pada pembangkit untuk beroperasi secara ekonomis pada kondisi beban sistem tertentu. Setiap pembangkit mempunyai karakteristik yang berbeda-beda sehingga berpengaruh pada fungsi kebutuhan dan biaya bahan bakarnya. Perbedaan karakteristik itu dipengaruhui oleh jenis bahan bakar dan efisiensi dari pembangkit. Fungsi total biaya dari generator unit-*i* dimodelkan dengan persamaan sebagai berikut:

$$Minimize\ F_{\cos t} = \sum_{j=1}^{N_g} F_j(P_j) \quad (2.1)$$

dimana,

$$\sum_{j=1}^{N_g} P_j = P_D + P_L, \quad (2.2)$$

$$\max\left(P_j^{min}, P_j^0 - DR_j\right) \le P_j \le P_{j,1}^l, \quad (2.3)$$

$$P_{j,k-1}^{u} \leq P_j \leq P_{j,k}^{l}, k = 2,3, \dots, n_j, \quad (2.4)$$

$$P_{j,n_j}^{u} \leq P_j \leq min(P_j^{max}, P_j^0 + UR_j. \quad (2.5)$$

2.1.2 Emisi

Beberapa pembangkit listrik dalam beroperasi akan menghasilkan gas buang yang disebut emisi. Emisi tersebut berupa Sulfur Dioksida (SO_2), Karbon Dioksida (CO_2), dan Nitrogen Oksida (NO_x). Dalam proses optimasi, emisi ini dapat dimodelkan terpisah secara matematis. Total ton/h dari emisi tersebut, yaitu []:

$$E(P) = \sum_{i=1}^{N} 10^{-2} (\alpha_i + \beta_i P_i + \gamma_i P_i^2) + \zeta \exp(\lambda_i P_i) \quad (2.6)$$

dimana α_i, β_i, ζ_i, dan λ_i adalah koefisien non-negatif dari karakteristik emisi generator unit-i.

Di dalam Tugas Akhir ini menggunakkan data pembangkit *thermal* dan pembangkit listrik tenaga angin. Emisi dari kedua pembangkit tersebut berupa Sulfur Dioksida (SO_2), Karbon Dioksida (CO_2), dan Nitrogen Oksida (NO_x). Karbon Dikosida dihasilkan oleh pembakaran dari bahan bakar yang mengandung karbon. Jumlah dari Karbon Dioksida yang dirilis adalah sebanding dengan jumlah karbon pada bahan bakar dan jumlah dari bahan bakar yang dibakar. Adapun emisi yang diperhitungkan merupakan emisi yang berasal dari *diesel generator*.

2.2 Pembangkit Listrik Tenaga Angin (*Wind Turbine*)

2.2.1 Dasar Pembangkit Listrik Tenaga Angin (*Wind Turbine)*

Pembangkit turbin angin merupakan sistem yang mengubah angin menjadi energi listrik. Dalam desain turbin angin, terdapat dua hal penting yang harus diperhitungkan, yaitu ketersediaan angin dan kurva daya dari turbin angin itu sendiri. Keluaran daya dari turbin angin merupakan fungsi dari kecepatan angin. Untuk memodelkan performansi dari turbin angin, kurva daya harus diperoleh.

Cara kerja dari pembangkitan listrik tenaga angin ini yaitu awalnya energi angin memutar turbin angin. Turbin angin bekerja berkebalikan dengan kipas angin (bukan menggunakan listrik untuk menghasilkan listrik, namun menggunakan angin untuk menghasilkan listrik). Kemudian angin akan memutar sudut turbin, lalu diteruskan untuk memutar rotor pada generator di bagian belakang turbin angin. Generator

mengubah energi gerak menjadi energi listrik dengan teori medan elektromagnetik, yaitu poros pada generator dipasang dengan material ferromagnetik permanen. Setelah itu di sekeliling poros terdapat stator yang bentuk fisisnya adalah kumparan-kumparan kawat yang membentuk *loop*. Ketika poros generator mulai berputar maka akan terjadi perubahan fluks pada stator yang akhirnya karena terjadi perubahan fluks ini akan dihasilkan tegangan dan arus listrik tertentu. Tegangan dan arus listrik yang dihasilkan ini disalurkan melalui kabel jaringan listrik untuk akhirnya digunakan oleh masyarakat. Tegangan dan arus listrik yang dihasilkan oleh generator ini berupa AC (*alternating current*) yang memiliki bentuk gelombang kurang lebih sinusoidal. Energi Listrik ini biasanya akan disimpan kedalam baterai sebelum dapat dimanfaatkan.

2.2.2 Kelebihan dan Kekurangan Pembangkit Listrik Tenaga Angin

KELEBIHAN

1. Keuntungan utama dari penggunaan pembangkit listrik tenaga angin secara prinsipnya adalah disebabkan karena sifatnya yang terbarukan. Hal ini berarti eksploitasi sumber energi ini tidak akan membuat sumber daya angin yang berkurang seperti halnya penggunaan bahan bakar fosil. Oleh karenanya, tenaga angin dapat berkontribusi dalam ketahanan energi dunia di masa depan.
2. Tenaga angin juga merupakan sumber energi yang ramah lingkungan, dimana penggunaannya tidak mengakibatkan emisi gas buang atau polusi yang berarti ke lingkungan.

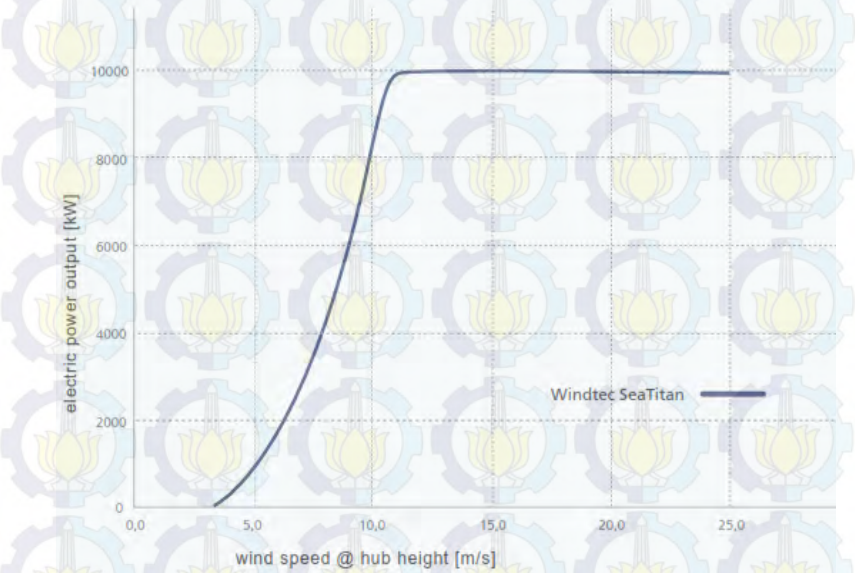
KEKURANGAN

1. Penempatan ladang angin pada lahan yang masih dapat digunakan untuk keperluan yang lain dapat menjadi persoalan tersendiri bagi penduduk setempat. Selain mengganggu pandangan akibat pemasangan barisan pembangkit angin penggunaan lahan untuk pembangkit angin dapat mengurangi lahan pertanian
2. Efek lain akibat penggunaan turbin angin adalah terjadinya derau frekuensi rendah. Putaran dari sudu-sudu turbin angin dengan frekuensi konstan lebih mengganggu daripada suara angin pada ranting pohon

3. Dalam keadaan tertentu turbin angin dapat juga menyebabkan interferensi elektromagnetik, mengganggu penerimaan sinyal televisi atau transmisi gelombang mikro untuk perkomunikasian.
4. Pengaruh ekologi yang terjadi dari penggunaan pembangkit tenaga angin adalah terhadap populasi burung dan kelelawar. Burung dan kelelawar dapat terluka atau bahkan mati akibat terbang melewati sudu-sudu yang sedang berputar.

2.2.3 Penerapan wt10000dd

Tugas akhir ini menggunakkan turbin angin SeaTitan dengan jenis wt10000dd. Kurva daya dari turbin angin ini adalah sebagai berikut []:



Gambar 2.1 Kurva daya actual dan modelnya dari wt10000dd

Dari model kurva daya tersebut, dapat diperoleh persamaan sebagai berikut:

$$P_{WT} = 0, \qquad V_{ac} < V_{ci} \qquad (2.7)$$

$$P_{WT} = aV^2{}_{ac} + bV_{ac} + c, \qquad V_{ci} \leq V_{ac} < V_r \qquad (2.8)$$

$P_{WT,r} = 10000,$ $V_r \leq V_{ac} > V_{co}$ (2.9)

$P_{WT,r} = J\ x\ P_{WT}$ (2.10)

dimana:
P_{WT} adalah daya keluaran dari turbin angin dalam *W*
P_{WT},r adalah *rating* daya dalam *W*
J adalah jumlah turbin angin yang terpasang
V_{ci} adalah kecepatan *cut-in* dalam *m/s*
V_{co} adalah kecepatan *cut-out* dalam *m/s*
V_r adalah *rating* kecepatan angin dalam *m/s*
V_{ac} adalah kecepatan angin actual dalam *m/s*

Untuk memodelkan performansi dari turbin angin, persamaan matematis dari kurva daya harus diperoleh. Berdasarkan kurva diatas, didapatkan parameter sebagai berikut:

a = -30.61660561660564
b = 1260.970695970697
c = -2544.566544566551
$P_{WT,r}$ = 10000
V_{ci} = 4
V_{co} = 30
V_r = 11,5

2.2.4 Perhitungan Biaya

Dari nilai posisi partikel yang telah diinisiasi, dihitung masing-masing biaya pembangkitannya dengan rumus:

$$cost = a * posisi\ partikel^2 + b * posisi\ partikel + c$$

2.3 Sistem Tenaga Listrik dan Pembangkit Listrik *Thermal*

Energi listrik merupakan sumber energi yang sangat penting bagi kehidupan manusia. Hampir seluruh aspek kehidupan manusia tidak lepas dari peran energi listrik. Bidang industri, transportasi, dan komunikasi adalah beberapa contoh dari sisi kehidupan manusia yang dapat dipastikan membutuhkan energi listrik. Hampir seluruh sumber energi yang ditemukan manusia dikonversikan menjadi energi listrik. Energi listrik menjadi penting karena mudah diubah dan didistribusikan.

Sistem tenaga listrik merupakan saluran terinterkoneksi yang dibagi menjadi empat bagian utama, yaitu unit pembangkit, transmisi, distribusi,

dan beban tenaga listrik. Unit-unit pembangkit tenaga listrik dengan lokasi berjauhan satu sama lain terhubung pada sistem melalui sistem transmisi yang luas untuk menyuplai energi listrik pada beban yang tersebar [19].

Tugas Akhir ini menggunakan pembangkit listrik *thermal* sebagai sistem pembangkit utama. Pembangkit listrik tenaga *thermal* adalah pembangkit listrik yang mengubah energi panas menjadi energi listrik, dengan memanfaatkan energi dari pembakaran dari suatu zat, dimana zat tersebut menghasilkan energi dalam bentuk aliran tekanan untuk menggerakan turbin generator untuk menghasilkan energi listrik. Energi panas dihasilkan dari proses pembakaran terhadap bahan bakar fosil (minyak,gas, batubara dll). Berikut ini adalah beberapa jenis pembangkit listrik tenaga thermal yang dibagi berdasarkan bahan bakar digunakan:

A. Pembangkit Listrik Tenaga Uap (PLTU)
B. Pembangkit Listrik Tenaga Gas (PLTG)
C. Pembangkit Listrik Tenaga Diesel (PLTD)
D. Pembangkit Listrik Tenaga Nuklir (PLTN)
E. Pembangkit Listrik Tenaga Panas Bumi (PLTPB)

PLTD adalah singkatan dari Pembangkit Listrik Tenaga Diesel. Pembangkit Listrik Tenaga Diesel (PLTD) ialah Pembangkit listrik yang menggunakan mesin diesel sebagai penggerak mula (prime mover). Prime mover merupakan peralatan yang mempunyai fungsi menghasilkan energi mekanis yang diperlukan untuk memutar rotor generator. Mesin diesel sebagai penggerak mula PLTD berfungsi menghasilkan tenaga mekanis yang dipergunakan untuk memutar rotor generator. Unit PLTD adalah kesatuan peralatan-peralatan utama dan alat-alat bantu serta perlengkapannya yang tersusun dalam hubungan kerja, membentuk sistem untuk mengubah energi yang terkandung didalam bahan bakar minyak menjadi tenaga mekanis dengan menggunakan mesin diesel sebagai penggerak utamanya.dan seterusnya tenaga mekanis tersebut diubah oleh generator menjadi tenaga listrik. PLTD biasa di gunakan sebagai pusat listrik untuk mengatasi adanya beban runcing yang sewaktu-waktu bisa muncul. PLTD disebut pusat listrik beban runcing karena memiliki beberapa kelebihan-kelebihan sebagai berikut:

1. Dapat mengambil beban dengan cepat,sehingga dapat meratakan beban dengan cepat
2. Pada saat star putaran mesin dari 0 rpm sampai sikron dengan jaringan membutuhkan waktu yang relatif cepat
3. Ongkos pembangunannya relatif rendah daripada pembangkit listrik yang lain

BAB 3
PENERAPAN *RANDOM DRIFT PARTICLE SWARM OPTIMIZATION* PADA *ECONOMIC DISPATCH* MEMPERTIMBANGKAN PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA ANGIN UNTUK PENGURANGAN EMISI

3.1 Algoritma *Particle Swarm Optimization*

3.1.1 Dasar *Particle Swarm Optimization*

Particle Swarm Optimization (PSO) didasarkan pada perilaku sebuah kawanan serangga, seperti semut, rayap, lebah, atau burung. Algoritma PSO meniru perilaku sosial organisme tersebut. Perilaku sosial terdiri dari tindakan individu-individu lain dalam suatu kelompok. Kata partikel menunjukkan, misalnya, seekor burung dalam kawanan burung. Setiap individu atau partikel berperilaku secara terdistribusi dengan cara menggunakkan kecerdasannya (*intelligence*) sendiri dan juga dipengaruhi perilaku kelompok kolektifnya. Dengan demikian, jika satu partikel atau seekor burung menemukan jalan yang tepat atau pendek menuju ke sumber makanan, sisa kelompok yang lain juga akan dapat segera mengikuti jalan tersebut meskipun lokasi mereka jauh di kelompok tersebut.

Metode optimasi yang didasarkan pada *swarm intelligence* ini disebut algoritma *behaviorally inspired* sebagai alternatif dari algoritma genetika, yang sering disebut *evolution-based procedures*. Algoritma PSO ini awalnya diusulkan oleh Kennedy dan Eberhart. Dalam konteks optimasi multivariabel, kawanan diasumsikan mempunyai ukurant tertentu atau tetap dengan setiap partikel posisi awalnya terletak di suatu lokasi yang acak dalam ruang multidimensi. Setiap partikel diasumsikan memiliki dua karakteristik, yaitu posisi dan kecepatan. Setiap partikel bergerak dalam ruang atau *space* tertentu dan mengingat posisi terbaik yang pernah dilalui atau ditemukan terhadap sumber makanan atau nilai fungsi objektif. Setiap partikel menyampaikan informasi atau posisi bagusnya kepada partikel yang lain dan menyesuaikan posisi yang bagus tersebut. Sebagai contoh, misalnya perilaku burung-burung dalam kawanan burung.

Meskipun setiap burung mempunyai keterbatasan dalam hal kecerdasan, biasanya ia akan mengikuti kebiasaan seperti berikut:

1. Seekor burung tidak berada terlalu dekat dengan burung yang lain.
2. Burung tersebut akan mengarahkan terbangnya ke arah rata-rata keseluruhan burung.
3. Akan memposisikan diri dengan rata-rata posisi burung yang lain dengan menjaga sehingga jarak antar burung dalam kawanan itu tidak terlalu jauh.

Dengan demikian, perilaku kawanan burung akan didasarkan pada kombinasi dari tiga faktor simpel berikut:

1. Kohesi – terbang bersama
2. Separasi – jangan terlalu dekat
3. Penyesuaian *(alignment)* – mengikuti arah bersama

Jadi, *Particle Swarm Optimizatio*n dikembangkan dengan berdasarkan pada model berikut:

1. Ketika seekor burung mendekati target atau makanan (atau biasa minimum atau maksimum suatu fungsi tujuan) secara cepat mengirim informasi kepada burung-burung yang lain dalam kawanan tertentu.
2. Burung yang lain akan mengikuti arah menuju ke makanan tetapi tidak secara langsung.
3. Ada komponen yang tergantung pada pikiran setiap burung, yaitu memorinya tentang apa yang sudah dilewati pada waktu sebelumnya.

Model ini akan disimulasikan dalam ruangan dengan dimensi tertentu dengan sejumlah iterasi sehingga di setiap iterasi posisi partikel akan semakin mengarah ke target yang dituju (minimasi atau maksimasi fungsi). Hal ini dilakukan hingga maksimum iterasi dicapai atau bisa juga digunakan kriteria pengehentian yang lain.

Gambar 3.1 Sekawanan populasi mencari makanan

3.1.2 Prinsip *Particle Swarm Optimization*

Berbeda dengan teknik komputasi evolusioner lainnya, setap partikel di dalam PSO juga berhubungan dengan suatu kecepatan. Partikel-partikel tersebut bergerak melalui penelusuran ruang dengan kecepatan yang dinamis yang disesuaikan menurut perilaku historisnya. Oleh sebab itu, partikel-partikel mempunyai kecenderungan untuk bergerak ke area penelusuran yang lebih baik setelah melewati proses penelusuran.

Particle Swarm Optimization (PSO) mempunyai kesamaan dengan *genetic algorithm* yang dimulai dengan suatu populasi yang acak dalam bentuk matriks. Akan tetapi, PSO tidak memiliki operator evolusi, yaitu *crossover* dan mutasi seperti yang ada pada *genetic algorithm*. Baris pada matriks disebut partikel atau dalam *genetic algorithm* sebagai kromosom yang terdiri dari nilai suatu variabel. Setiap particle berpindah dari posisinya semula ke posisi yang lebih baik dengan suatu kecepatan.

Beberapa istilah umum yang biasa digunakan dalam PSO dapat didefinisikan sebagai berikut []:

1. *Swarm* :populasi dari suatu algoritma
2. *Particle* :anggota (individu) pada suatu *swarm*. Setiap partikel merepresentasikan suatu solusi potensial pada permasalahan yang diselesaikan. Posisi dari suatu partikel adalah ditentukan oleh representasi solusi saat itu.

3. *Pbest (Personal Best)* :posisi *Pbest* suatu partikel yang menunjukkan posisi *particle* yang dipersiapkan untuk mendapatkan suatu solusi yang terbaik.
4. *Gbest (Global Best)* :posisi terbaik partikel pada *swarm.*
5. *Velocity* (vektor) :vektor yang menggerakkan proses optimisasi yang menentukkan arah dimana suatu partikel diperlukan untuk berpindah untuk memperbaiki posisinya semula..
6. *Intertia Weight* :*inertia weight* disimbolkan *w*, parameter ini digunakkan untuk mengontrol dampak dari adanya kecepatan yang diberikan oleh suatu partikel.

Prinsip kerja *Particle Swarm Optimization* []:

1. Setiap individu disebut partikel
2. Masing-masing partikel menempati posisi pada *search space*
3. *Fitness value* mewakili jumlah makanan di posisi tersebut
4. Partikel terbang melalui *search space* menuju partikel yang optimal (dengan jumlah makanan terbanyak)
5. Masing-masing partikel menggunakan pengalamaannya dan pengalaman *swarm* untuk mengubah posisinya

Perhitungan Pbest sebagai berikut:

$y_i(t+1) = y_i(t) \quad if\ f((x_i(t+1)) \geq f(y_i(t)) \quad (3.1)$

$y_i(t+1) = x_i(t+1) \quad if\ f((x_i(t+1)) < f(y_i \quad (3.2)$

dimana:

y_i =posisi baru partikel

x_i =posisi lama partikel

$(t+1), t$ =jika partikel baru lebih baik, maka posisi akan berubah. Jika partikel lama yang lebih baik, maka posisi tetap

Perhitungan Gbest sebagai berikut:

$y_i = \arg\min \{f(x_0(t)), f(x_1(t)), \dots, f(x_{ns}(t))\} \quad (3.3)$

dimana Gbest adalah Pbest terbaik dan ns adalah jumlah partikel di dalam *swarm*.

Update kecepatan:

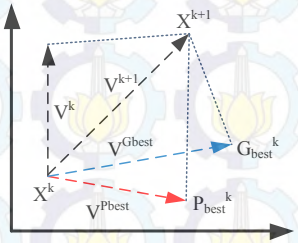
$$v_i(t+1) = \omega . v_i(t) + c_1 . r_{1i}(t) . \left(y_i(t) - x_i(t)\right) + c_2 . r_{2i}(t) . \left(\dot{y}_i(t) - x_i(t)\right) \quad (3.4)$$

Update posisi lokal (Pbest):

$$y_i(t+1) = y_i(t) + v_i(t+1) \quad (3.5)$$

Update posisi global (Gbest):

$$y(t+1) = \arg\min\{f y_0(t+1), f\left(x_1(t+1)\right), \dots, f\left(x_{ns}(t+1)\right)\} \quad (3.6)$$



Gambar 3.2 Konsep pencarian Pbest dan Gbest dari PSO

3.2 *Random Drift Particle Swarm Optimization*

Hasil analisa membuktikan bahwa nilai konvergen dari algoritma *Particle Swarm Optimization* dapat dicapai apabila setiap iterasi konvergen terhadap local focusnya, $p_{i,n} = \left(p_{i,n}^1, p_{i,n}^2, \dots, p_{i,n}^N\right)$ didefinisakan oleh koordinat:

$$p_{i,n}^j = \varphi_{i,n}^j Y_{i,n}^j + \left(1 - \varphi_{i,n}^j\right) G_n^j, \qquad \varphi_{i,n}^j \sim U(0,1) \quad (3.7)$$

dimana $\varphi_{i,n}^j = c_1 r_{i,n}^j / (c_1 r_{i,n}^j + c_2 R_{i,n}^j)$ dengan nilai acak (random) untuk $r_{i,n}^j$ dan juga $R_{i,n}^j$. Karena koefisien percepatan c_1 dan c_2 pada umumnya ditetapkan pada nilai yang sama, $\varphi_{i,n}^j$ adalah serangkaian dari *uniformly distributed random numbers* pada nilai (0,1).

Perpindahan arah partikel menuju $p_{i,n}$ adalah sama dengan pergerakan drift dari suatu elektron pada konduktor besi yang ditempatkan pada medan magnet eksternal. Akan tetapi, berdasarkan model elektron bebas, selain pergerakan drift disebabkan oleh medan elektrik, elektron juga berada di pergerakan termal, yang muncul menjadi pergerakan yang acak. Efek keseluruhan dari perpindahan elektron adalah elektron tersebut bergerak miring ke lokasi dengan energi potensial

minimum. Hal ini terlihat jelas bahwa perpindahan elektron adalah analog dengan proses minimum mendapatkan solusi dari masalahnya, jika posisi elektron dianggap sebagai solusi kandidat dan fungsi energy potensial sebagai fungsi objektif.

Terinspirasi dari fakta yang ada di atas, dapat diasumsikan bahwa partikel yang terdapat di dalam *Random Drift Particle Swarm Optimization* (RDPSO) berperilaku seperti elektron yang berpindah ke konduktor besi yang ditempatkan pada medan elektrik eksternal. Oleh karena itu, perpindahan dari partikel adalah superposisi dari pergerakan termal pergerakan drift menuju $p_{i,n}$. Berhubungan dengan hal tersebut, kecepatan partikel dapat direpresentasikan dengan $V_{i,n}^{j} = VR_{i,n}^{j} + VD_{i,n}^{j}$, dimana $VR_{i,n}^{j}$ dan $VD_{i,n}^{j}$ merepresentasikan kecepatan dari pergerakan termal dan pergerakan drift menuju $p_{i,n}$. Pada tugas akhir ini, didapatkan rumus untuk $VR_{i,n}^{j}$ dan $VD_{i,n}^{j}$ sebagai berikut:

$$VR_{i,n+1}^{j} = \sigma_{i,n}^{j}\lambda_{i,n+1}^{j} \quad (3.8)$$

$$VD_{i,n+1}^{j} = \beta(p_{i,n}^{j} - X_{i,n}^{j}) \quad (3.9)$$

Pada persamaan (3.8), $\lambda_{i,n+1}^{j}$ adalah nilai acak dengan standar distribusi normal dan $\sigma_{i,n}^{j}$ adalah standar deviasi pada distribusi Gaussian, dimana nilainya dideterminasi secara adaptif dengan:

$$\sigma_{i,n}^{j} = \alpha|C_{n}^{j} - X_{i,n}^{j}| \quad (3.10)$$

dimana $C_{n}^{j} = \left(\frac{1}{M}\right)\sum_{i=1}^{M} Y_{i,n}^{j}, (1 \le j \le N)$ dan disebut sebagai *mean best position*. Pada persamaan (3.9), $p_{i,n}^{j}$ didefinisikan oleh (3.7). Pada persamaan (3.9) dan (3.10), α dan β ada dua angka real positif menggunakan koefisien *thermal* dan koefisien *drift*. Hal ditunjukkan dengan kecepatan pada pergerakan termal $VR_{i,n}^{j}$ mengikuti hokum kecepatan distribusi Maxwell. Hal ini juga dapat dilihat pada persamaan (3.9) bahwa efek dari kecepatan drift $VD_{i,n}^{j}$ memimpin partikel untuk membuat perpindahan menuju $p_{i,n}^{j}$ pada setiap iterasi. Dengan spesifikasi-spesifikasi yang sudah ada, didapatkan persamaan untuk partikel pada *Random Drift Particle Swarm Optimization*, yaitu:

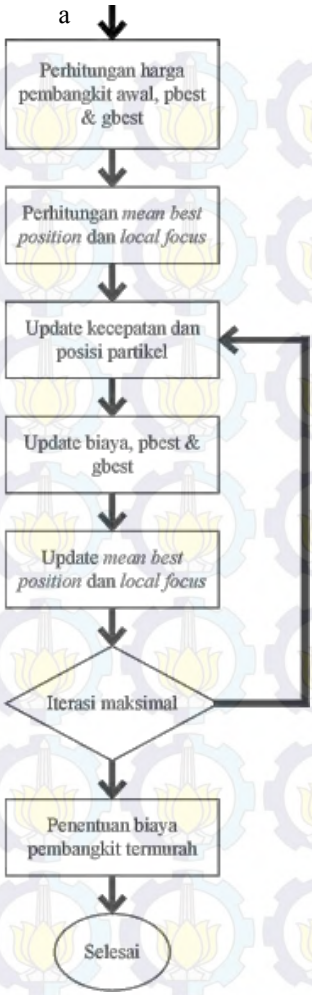
$$V_{i,n}^{j} = \alpha|C_{n}^{j} - X_{i,n}^{j}|\lambda_{i,n+1}^{j} + \beta(p_{i,n}^{j} - X_{i,n}^{j}) \quad (3.11)$$

$$X_{i,n+1}^{j} = X_{i,n}^{j} + V_{i,n+1}^{j} \quad (3.12)$$

Prosedur dalam percobaan algoritma *Random Drift Particle Swarm Optimization* adalah sebagai berikut:

Step 0 : menginisiasi posisi saat ini pada setiap partikel dan meng-setting setiap *personal best position* untuk menjadi posisi saat ini;
Step 1 : setting $n = 0$;
Step 2 : sementara kondisi yang diinginkan belum didapatkan, ikuti langkah-langkah selanjutnya;
Step 3 : setting $n = n + 1$ dan hitung *mean best position* C_n;
Step 4 : dari $i = 1$ mengekseksi langkah-langkah berikut;
Step 5 : mengevaluasi nilai dari $f(X_{i,n})$, dan meng-update $Y_{i,n}$ dan G_n
Step 6 : meng-update setiap komponen pada kecepatan dan posisi saat ini pada partikel *i* berdasarkan persamaan (3.11) dan (3.12);
Step 7 : setting $i = i + 1$ dan kembali pada step 5 sampai $i = M$;
Step 8 : kembali ke step 2.

3.3 Penerapan Algoritma *Random Drift Particle Swarm Optimization* pada *Economic Dispatch*



Gambar 3.3 Diagram Alir *Random Drift Particle Swarm Optimization*

Algoritma *Random Drift Particle Swarm Optimization* (RDPSO) merupakan metode yang digunakan pada program utama tugas akhir ini. *Random Drift Particle Swarm Optimization* ini akan menentukan pembiayaan pembangkitan *economic dispatch* dan juga besarnya emisi

pada setiap emisi. Langkah-langkah yang disajikan pada tugas akhir ini terdapat pada gambar 3.3.

3.3.1 Inisialisi Awal

Pada proses ini akan akan dimuat sistem yang nantinya akan dioptimasi. Adapun, tugas akhir ini menggunakan data pembangkit dari IEEE dengan 15 unit pembangkit.

3.3.1.1 Sistem Pembangkit IEEE

Berikut merupakan data pembangkit yang digunakan pada tugas akhir ini [1].

Tabel 3.3 Data Batasan Daya 6 Unit Pembangkit IEEE

Unit	Pmin (MW)	Pmax (MW)
1	100	500
2	50	200
3	80	300
4	50	150
5	50	220
6	50	120

Tabel 3.4 Data Koefisien Biaya 6 Unit Pembangkit IEEE

Unit	Koefisien Biaya Operasi		
	a	b	c
1	0,0070	7,0	240
2	0,0095	10,0	200
3	0,0090	8,5	220
4	0,0090	11,0	200
5	0,0080	10,5	220
6	0,0075	12,0	190

Tabel 3.1 Data Batasan Daya 15 Unit Pembangkit IEEE

Unit	Pmin (MW)	Pmax (MW)
1	150	455
2	150	455
3	20	130
4	20	130

5	150	470
6	135	460
7	135	465
8	60	300
9	25	162
10	25	160
11	20	80
12	20	80
13	25	85
14	15	55
15	15	55

Tabel 3.2 Data Koefisien Biaya 15 Unit Pembangkit IEEE

Unit	Koefisien Biaya Operasi		
	a	b	c
1	0,000299	10,1	671
2	0.000183	10,2	574
3	0,001126	8,8	374
4	0,001126	8,8	374
5	0,000205	10,4	461
6	0,000301	10,1	630
7	0,000364	9,8	548
8	0,000338	11,2	227
9	0,000807	11,2	173
10	0,001203	10,7	175
11	0,003586	10,2	186
12	0,005513	9,9	230
13	0,000371	13,1	225
14	0,001929	12,1	309
15	0,004447	12,4	323

Tabel 3.5 Faktor Emisi

	Faktor Emisi (g/kWh)
Nitrogen Oksida (NO_x)	21,8
Sulfur Dioksida (SO_2)	0,454
Karbon Dioksida (CO_2)	1,432

3.3.1.2 Parameter-Parameter *Random Drift Particle Swarm Optimization*

Parameter-parameter yang digunakan pada tugas akhir ini merupakan insialisasi awal operasi algoritma *Random Drift Particle Swarm Optimization*. Parameter-parameter tersebut, antara lain:

Jumlah Pembangkit I	= 6 Unit
Jumlah Pembangkit II	= 15 Unit
Jumlah Partikel	= 100
Jumlah Iterasi	= 200
c1	= 2,05
c2	= 2,05
alfa	= 0,7
beta	= 1,5
lambda	= *normal random*
w1	= 0,4
w2	= 0,9

Partikel adalah merupakan bagian dari iterasi, dimana pada setiap iterasi akan menghasilkan partikel sesuai jumlah yang tertulis pada data di atas. Pada konsep algoritma ini, terdapat *local best* dan *global best*. Baik partikel maupun iterasi menentukan nilai dari *local best* dan juga *global best*. *Local best* merupakan nilai terbaik dari setiap iterasi yang ada yang kemudian akan dibandingkan dengan setiap *local best* pada setiap iterasinya. Berikut merupakan konsep kerja dari *local best* dan juga *global best*.

1. Algoritma *Random Drift Particle Swarm Optimization* akan bergerak dari iterasi 1-200 dengan banyak partikel setiap iterasinya sebanyak 100 partikel.
2. Pada setiap iterasi akan didapatkan partikel paling optimum. Bergerak dari iterasi ke-1, maka didapatkan nilai optimum iterasi ke-1 dengan nilai X. X ini merupakan *local best* iterasi ke-1 dan untuk sementara disebut sebagai *global best*.
3. Bergerak ke iterasi ke-2, maka didapatkan nilai paling optimum di iterasi ke-2 dengan nilai Y. Y merupakan *local best* iterasi ke-2. Ketika Y dibandingkan dengan X dan ternyata nilai Y lebih optimum, maka Y menjadi *global best*.
4. Menuju iterasi ke-3, didapatkan nilai paling optimum di iterasi ke-2 dengan nilai Z. Z merupakan *local best* iterasi ke-3.

Kemudian, Z dibandingkan dengan Y (pada kondisi ini Y masih merupakan *global best*) dan ternyata nilai Y masih lebih optimum dibandingkan dengan Z, maka Y masih sebagai *global best* pada proses iterasi. Maka, *global best* untuk iterasi ke-3 ini menjadi sama dengan nilai Y.

5. Konsep ini terus berlanjut hingga iterasi yang terakhir. Ketika nilai *local best* di setiap iterasi selanjutnya tidak lebih baik dibandingkan dengan *global best* yang sudah ada, maka nilai optimum akan mengikuti *global best* dimana konsep ini sesuai dengan konsep dasar algoritma *Particle Swarm Optimization*.

3.3.2 Perhitungan Pembangkit Tenaga Angin atau *Wind Turbine*

Pada proses simulasi, *wind turbine* akan menjadi prioritas terlebih dahulu dalam pemenuhan beban yang dibutuhkan. Apabila beban yang diminta kurang dari sama dengan daya *wind turbine*, maka sistem pembangkitan akan 100% berasal dari *wind turbine*. Akan tetapi, ketika beban yang diminta lebih dari daya *wind turbine*, maka beban sisa yang tidak dapat ditanggung *wind turbine*, akan ditanggung oleh pembangkit *thermal*. Pada simulasi ini, *wind turbine* dimasukkan ke dalam suatu fungsi, yaitu:

$$Pwt = datawindturbine\ (v,J)$$

3.3.3 Penentuan Posisi dan Kecepatan Awal Partikel

Parameter selanjutnya yang dibutuhkan adalah menentukan posisi dan kecepatan awal partikel. Kondisi ini diperlukan untuk menjaga simulasi berada pada batas yang sudah ditentukan. Pada penentuan posisi partikel awal ini juga mempengaruhi akan batas daya sehingga tidak lebih dan tidak kurang.

3.3.4 Perhitungan Biaya Awal, Pbest, dan Gbest

Pada poin ini, biaya awal dihitung dengan menggunakan rumus fungsi kuadratik. Kemudian, Pbest dan Gbest direkam sebagai iterasi awal.

3.3.5 Perhitungan *Mean Best Position, Local Focus, VR,* dan *VD*

Bagian ini merupakan dasar dari algoritma *Random Drift Particle Swarm Optimization*. Berdasarkan jurnal [1], *mean best position* ditentukan dengan rumus:

$$C_n^j = \left(\frac{1}{M}\right)\sum_{i=1}^{M} Y_{i,n}^j, (1 \le j \le N)$$

sedangkan proses pengerjaan dalam program Matlab menjadi

c = mean (pbest)

dengan hasil yang sama untuk proses pembacaan yang lebih ringan. Sedangkan, untuk *local focus* ditunjukkan dengan rumus:

$$p_{i,n}^j = \varphi_{i,n}^j Y_{i,n}^j + \left(1 - \varphi_{i,n}^j\right) G_n^j \quad (3.7)$$

dan untuk VR maupun VD ditunjukkan dengan rumus:

$$VR_{i,n+1}^j = \sigma_{i,n}^j \lambda_{i,n+1}^j \quad (3.8)$$

$$VD_{i,n+1}^j = \beta(p_{i,n}^j - X_{i,n}^j) \quad (3.9)$$

[Halaman ini sengaja dikosongkan]

BAB 4
SIMULASI DAN ANALISIS

Pada bab ini akan diperlihatkan hasil perhitungan *economic dispatch* dengan menggunakan algoritma *Random Drift Particle Swarm Optimization*. Hasil perhitungan yang diperlihatkan berupa tabel-tabel yang meliputi tentang pembangkitan total, emisi total, dan juga biaya total dengan berbagai kondisi. Hasil dari simulasi ini akan memperlihatkan perbandingan dari aplikasi metode algoritma *Particle Swarm Optimization* dengan *Random Drift Particle Swarm Optimization* yang terbagi dalam beberapa studi kasus. Dalam tugas akhir ini, data yang dimasukkan merupakan asumsi dari referensi jurnal.

4.1 Performa Komputasi

Program simulasi pada Tugas Akhir ini dikerjakan dengan spesifikasi komputer sebagai berikut:

Tabel 4.1 Spesifikasi Komputasi Komputer

Parameter	Spesifikasi
Processor Unit	Intel® Core™ i3-2350M CPU @ 2,30 GHz
RAM	4,00 GB
Sistem Operasi	Windows 10; 64-bit
Software Simulasi	Matlab

4.2 Hasil Simulasi 6 Unit Pembangkit IEEE

4.2.1 Data 6 Unit Pembangkit IEEE

Tabel 4.2 Data Batasan Daya 6 Unit Pembangkit IEEE

Unit	Pmin (MW)	Pmax (MW)
1	100	500
2	50	200
3	80	300
4	50	150
5	50	220
6	50	120

Tabel 4.3 Data Koefisien Biaya 6 Unit Pembangkit IEEE

Unit	Koefisien Biaya Operasi		
	a	b	c
1	0,0070	7,0	240
2	0,0095	10,0	200
3	0,0090	8,5	220
4	0,0090	11,0	200
5	0,0080	10,5	220
6	0,0075	12,0	190

4.2.2 Studi Kasus I

Pada studi kasus I memperlihatkan hasil perhitungan dari *Particle Swarm Optimization* tanpa menggunakan *Wind Turbine*. Total daya yang dibangkitkan adalah 1.263 MW. Berikut merupakan data yang dihasilkan dari simulasi:

Tabel 4.4 Hasil Perhitungan dengan Algoritma *Particle Swarm Optimization* tanpa *Wind Turbine*

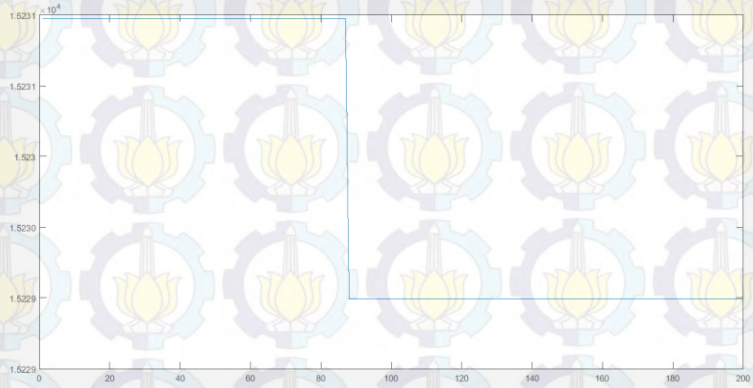
Unit	Total Beban (MW/h)	Total Daya Wind Turbine (MW/h)	Total Biaya ($/h)
1	381,3570059072910	0	15.228,99376719151
2	200		
3	300		
4	150		
5	181,6429940927092		
6	50		
Total	1.263		

Sedangkan apabila hasil data dari algoritma *Particle Swarm Optimization* di atas dibandingkan dengan algoritma *Random Drift Particle Swarm Optimization* tanpa menggunakan *Wind Turbine*, hasil yang didapatkan dari simulasi adalah:

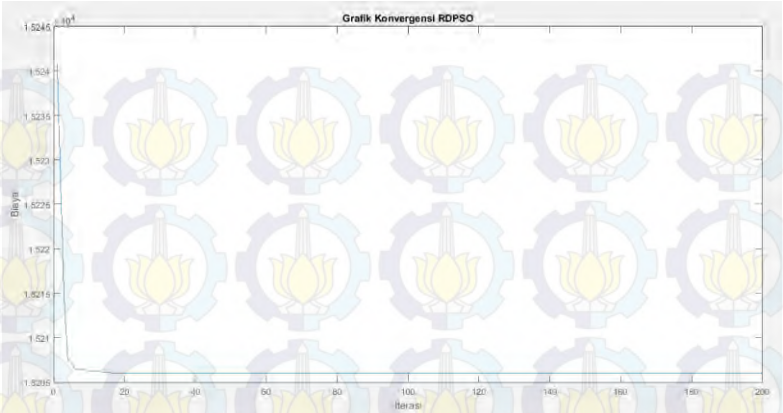
Tabel 4.5 Hasil Perhitungan dengan Algoritma *Random Drift Particle Swarm Optimization* tanpa *Wind Turbine*

Unit	Total Beban (MW/h)	Total Daya Wind Turbine (MW/h)	Total Biaya ($/h)
1	464,0053930740368	0	15.205,98255844994
2	166,5067743105749		
3	243,6487045140728		
4	150		
5	153,5843852460823		
6	85,25474285523313		
Total	1.263		

Dari studi kasus I ini dapat disimpulkan bahwa antara penggunaan algoritma *Particle Swarm Optimization* dengan algoritma *Random Drift Particle Swarm Optimization* memiliki perbedaan biaya yang cukup signifikan, yaitu sebesar 23,0112087416001 Dollar/jam atau sebesar 299.145,713640801 Rupiah/jam dengan kurs (1 Dollar = 13.000 Rupiah) untuk algoritma *Random Drift Particle Swarm Optimization* yang lebih murah.



Gambar 4.1 Grafik Konvergensi PSO – 6 Unit Pembangkit tanpa *Wind Turbine*



Gambar 4.2 Grafik Konvergensi RDPSO – 6 Unit Pembangkit tanpa *Wind Turbine*

4.2.3 Studi Kasus II

Pada studi kasus sebelumnya, diperlihatkan bagaimana perbandingan antara algoritma *Particle Swarm Optimization* dengan *Random Drift Particle Swarm Optimization* dengan perbandingan harga yang lebih murah untuk *Random Drift Particle Swarm Optimization*. Untuk kasus II dibandingkan antara algoritma *Random Drift Particle Swarm Optimization* tanpa penambahan *wind turbine* dan algoritma *Random Drift Particle Swarm Optimization* dengan penambahan *wind turbine*. Merk *Wind Turbine* yang digunakan adalah SeaTitan jenis wt10000dd sebanyak 5 unit. Satu jenis wt10000dd mampu menghasilkan daya sebesar 50 MW apabila kecepatan rata-rata angin berada pada nilai 11,5 m/s.

Tabel 4.6 Hasil Perhitungan dengan Algoritma *Random Drift Particle Swarm Optimization* tanpa *Wind Turbine*

Unit	Total Beban (MW/h)	Total Daya Wind Turbine (MW/h)	Total Biaya ($/h)
1	464,0053930740368		
2	166,5067743105749		
3	243,6487045140728		
4	150	0	15.205,98255844994

5	153,5843852460823		
6	85,25474285523313		
Total	1.263		

Tabel 4.7 Hasil Perhitungan dengan Algoritma *Random Drift Particle Swarm Optimization* dengan *Wind Turbine*

Unit	Total Beban (MW/h)	Total Daya Wind Turbine (MW/h)	Total Biaya ($/h)
1	439,661941150169	35,9366594	14.731,40175287065
2	166,0666728586923		
3	258,6259225325331		
4	119,7369605628463		
5	165,954136180439		
6	77,01770734106989		
Total	1.227,06334062575		

Dari kedua tabel di atas, penggunaan *wind turbine* pada tabel (4.7) dimaksimalkan terlebih dahulu, kemudian pembangkit *thermal* baru bekerja untuk sisa beban yang perlu dibangkitkan. Oleh karenanya, didapatkan biaya yang lebih murah jika dibandingkan dengan tabel (4.6). Perbedaan biaya yang dihasilkan dari kedua kondisi tersebut adalah sebesar 474,580805579299 Dollar/jam atau sebesar 6.169.550,47253088 Rupiah/jam dengan kurs (1 Dollar = 13.000 Rupiah) untuk kondisi dengan menggunakan *wind turbine* yang lebih murah. Selain itu, pada kasus ini, total pembangkitan yang dihasilkan dari pembangkit *thermal* berkurang menjadi 1.227,06334062575 MW karena adanya *wind turbine* yang terlebih dahulu dimaksimalkan pengunaannya.

Gambar 4.3 Grafik Konvergensi RDPSO 6 Unit Pembangkit dengan *Wind Turbine*

4.2.4 Studi Kasus III

Pada studi kasus III ini akan ditampilkan tentang pengaruh emisi dalam sistem pembangkitan. Karena pembangkitan yang digunakan merupakan pembangkit *thermal*, maka emisi yang digunakan merupakan emisi yang berasal dari pembangkit *diesel*.

Tabel 4.8 Hasil Perhitungan Emisi pada Setiap Pembangkit pada Algoritma *Random Drift Particle Swarm Optimization* tanpa *Wind Turbine*

Unit	Total Beban (MW/h)	Emisi (g/MWh)
1	464,0053930740368	1,099043174035164
2	166,5067743105749	3,943879456320278
3	243,6487045140728	5,771063215120329
4	150	3,5529
5	153,5843852460823	3,637799748938706
6	85,25474285523313	2,01331
Total Emisi		29,90938416073095

Tabel 4.9 Hasil Perhitungan Emisi pada Setiap Pembangkit pada Algoritma *Random Drift Particle Swarm Optimization* dengan *Wind Turbine*

Unit	Total Beban (MW/h)	Emisi (g/MWh)
1	436,8667286583738	10,34762533500224
2	163,9565571087574	3,883475011678028
3	256,5355710300676	6,076301535418182
4	117,6203877162728	2,785956503447638
5	163,4653360389040	3,871839949417481
6	74,55541944762453	1,765919665036435
Total Emisi		28,73111800000001

Data emisi yang dihasilkan merupakan emisi yang berasal dari pembangkit *thermal* bukan dari *wind turbine* karena *wind turbine* tidak menghasilkan emisi pada sistem pembangkitannya. Beban di dalam tabel merupakan beban yang berasal dari algoritma *Random Drift Particle Swarm Optimization* dengan *wind turbine* pada sistem pembangkitan 6 unit generator IEEE. Adapun emisi yang dihasilkan terdiri dari Sulfur Dioksida (SO_2), Karbon Dioksida (CO_2), dan Nitrogen Oksida (NO_x). Karena pada Tugas Akhir ini emisi tidak dijadikan sebagai fungsi objektif, maka hasil emisi hanya ditampilkan angkanya secara terpisah.

4.3 Hasil Simulasi 15 Unit Pembangkit IEEE

4.3.1 Data 15 Unit Pembangkit IEEE

Tabel 4.10 Data Batasan Daya 15 Unit Pembangkit IEEE

Unit	Pmin (MW)	Pmax (MW)
1	150	455
2	150	455
3	20	130
4	20	130
5	150	470
6	135	460
7	135	465
8	60	300
9	25	162
10	25	160
11	20	80
12	20	80
13	25	85

14	15	55
15	15	55

Tabel 4.11 Data Koefisien Biaya 15 Unit Pembangkit IEEE

Unit	Koefisien Biaya Operasi		
	a	b	c
1	0,000299	10,1	671
2	0.000183	10,2	574
3	0,001126	8,8	374
4	0,001126	8,8	374
5	0,000205	10,4	461
6	0,000301	10,1	630
7	0,000364	9,8	548
8	0,000338	11,2	227
9	0,000807	11,2	173
10	0,001203	10,7	175
11	0,003586	10,2	186
12	0,005513	9,9	230
13	0,000371	13,1	225
14	0,001929	12,1	309
15	0,004447	12,4	323

4.3.2 Studi Kasus I

Pada studi kasus I memperlihatkan hasil perhitungan dari *Particle Swarm Optimization* tanpa menggunakan *Wind Turbine*. Total daya yang dibangkitkan sebesar 2.630 MW. Berikut merupakan data yang dihasilkan dari simulasi:

Tabel 4.12 Hasil Perhitungan dengan Algoritma *Particle Swarm Optimization* tanpa *Wind Turbine*

Unit	Total Beban (MW/h)	Total Daya Wind Turbine (MW/h)	Total Biaya ($/h)
1	455		
2	420,7160180162491		

3	130		
4	130		
5	324,2839819837511		
6	460		
7	465	0	32.280,35076024132
8	60		
9	25		
10	25		
11	20		
12	20		
13	25		
14	15		
15	55		
Total	2.630		

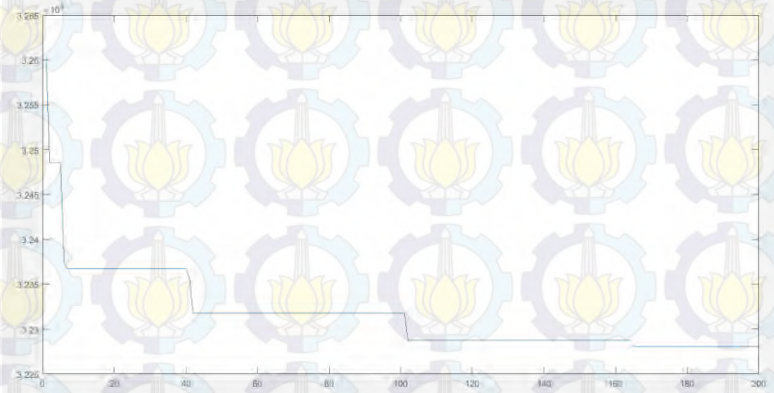
Sedangkan apabila hasil data dari algoritma *Particle Swarm Optimization* di atas dibandingkan dengan algoritma *Random Drift Particle Swarm Optimization* tanpa menggunakan *Wind Turbine*, hasil yang didapatkan dari simulasi adalah:

Tabel 4.13 Hasil Perhitungan dengan Algoritma *Random Drift Particle Swarm Optimization* tanpa *Wind Turbine*

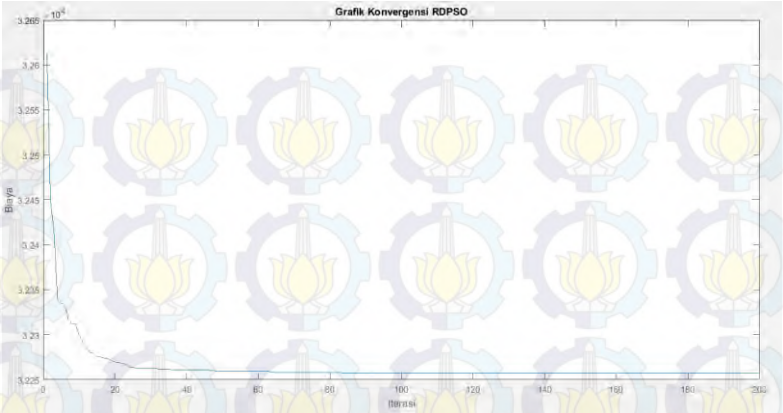
Unit	Total Beban (MW/h)	Total Daya Wind Turbine (MW/h)	Total Biaya ($/h)
1	455		
2	455		
3	130		
4	130		
5	274,6474211726658		
6	459,9757473148788		
7	465		
8	60	0	32.256,80548993397
9	25,00476966567259		
10	25		
11	41,02033246327363		
12	54,33161685642456		
13	25,00269043884639		

14	15,01742208823798		
15	15		
Total	2.630		

Dari studi kasus I ini dapat disimpulkan bahwa antara penggunaan algoritma *Particle Swarm Optimization* dengan algoritma *Random Drift Particle Swarm Optimization* memiliki perbedaan biaya yang cukup signifikan, yaitu sebesar 23,5452703074006 Dollar/jam atau sebesar 306.088,513996208 Rupiah/jam dengan kurs (1 Dollar = 13.000 Rupiah) untuk algoritma *Random Drift Particle Swarm Optimization* yang lebih murah.



Gambar 4.4 Grafik Konvergen PSO – 15 Unit Pembangkit tanpa *Wind Turbine*



Gambar 4.5 Grafik Konvergen RDPSO – 15 Unit Pembangkit tanpa *Wind Turbine*

4.3.3 Studi Kasus II

Pada studi kasus sebelumnya, diperlihatkan bagaimana perbandingan antara algoritma *Particle Swarm Optimization* dengan *Random Drift Particle Swarm Optimization* dengan perbandingan harga yang lebih murah untuk *Random Drift Particle Swarm Optimization*. Untuk kasus II dibandingkan antara algoritma *Random Drift Particle Swarm Optimization* tanpa penambahan *wind turbine* dan algoritma *Random Drift Particle Swarm Optimization* dengan penambahan *wind turbine*. Merk *Wind Turbine* yang digunakan adalah SeaTitan jenis wt10000dd sebanyak 5 unit. Satu jenis wt10000dd mampu menghasilkan daya sebesar 50 MW apabila kecepatan rata-rata angin berada pada nilai 11,5 m/s.

Tabel 4.14 Hasil Perhitungan dengan Algoritma *Random Drift Particle Swarm Optimization* tanpa *Wind Turbine*

Unit	Total Beban (MW/h)	Total Daya Wind Turbine (MW/h)	Total Biaya ($/h)
1	455		
2	455		
3	130		
4	130		

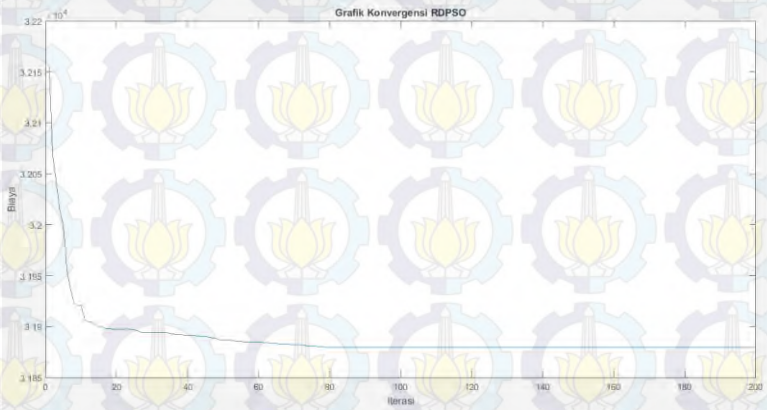
5	274,6474211726658	0	32.256,80548993397
6	459,9757473148788		
7	465		
8	60		
9	25,00476966567259		
10	25		
11	41,02033246327363		
12	54,33161685642456		
13	25,00269043884639		
14	15,01742208823798		
15	15		
Total	2.630		

Tabel 4.15 Hasil Perhitungan dengan Algoritma *Random Drift Particle Swarm Optimization* dengan *Wind Turbine*

Unit	Total Beban (MW/h)	Total Daya Wind Turbine (MW/h)	Total Biaya ($/h)
1	448,8273297945507	35,9366594	31.879,28631950841
2	455		
3	130		
4	130		
5	235,7442764102751		
6	459,572980421498		
7	464,7216545011415		
8	60		
9	25		
10	25		
11	48,43546823941494		
12	56,76163125886966		
13	25		
14	15		
15	15		
Total	2.594,06334062575		

Dari kedua tabel di atas, penggunaan *wind turbine* pada tabel (4.15) dimaksimalkan terlebih dahulu, kemudian pembangkit *thermal* baru

bekerja untuk sisa beban yang perlu dibangkitkan. Oleh karenanya, didapatkan biaya yang lebih murah jika dibandingkan dengan tabel (4.14). Perbedaan biaya yang dihasilkan dari kedua kondisi tersebut adalah sebesar 377,519170425501 Dollar/jam atau sebesar 4.907.749,21553152 Rupiah/jam dengan kurs (1 Dollar = 13.000 Rupiah) untuk kondisi dengan menggunakan *wind turbine* yang lebih murah. Selain itu, pada kasus ini, total pembangkitan yang dihasilkan dari pembangkit *thermal* berkurang menjadi 2.594,06334062575 MW karena adanya *wind turbine* yang terlebih dahulu dimaksimalkan pengunaannya.



Gambar 4.6 Grafik Konvergensi RDPSO – 15 Unit Pembangkit dengan *Wind Turbine*

4.3.4 Studi Kasus III

Pada studi kasus III ini akan ditampilkan tentang pengaruh emisi dalam sistem pembangkitan. Karena pembangkitan yang digunakan merupakan pembangkit *thermal*, maka emisi yang digunakan merupakan emisi yang berasal dari pembangkit *diesel*.

Tabel 4.16 Hasil Perhitungan Emisi pada Setiap Pembangkit pada Algoritma *Random Drift Particle Swarm Optimization* tanpa *Wind Turbine*

Unit	Total Beban (MW/h)	Emisi (g/MWh)
1	455	10,77713

2	455	10,77713
3	130	3,07918
4	130	3,07918
5	274,6474211726658	6,505298817895763
6	459,9757473148788	10,89498555090022
7	465	11,01399
8	60	1,42116
9	25,00476966567259	0,592262974301121
10	25	0,59215
11	41,02033246327363	0,9716075947250993
12	54,33161685642456	1,286898676861272
13	25,00269043884639	0,5922137257345156
14	15,01742208823798	0,3557026595820048
15	15	0,35529
Total Emisi		62,29417999999999

Tabel 4.17 Hasil Perhitungan Emisi pada Setiap Pembangkit pada Algoritma *Random Drift Particle Swarm Optimization* dengan *Wind Turbine*

Unit	Total Beban (MW/h)	Emisi (g/MWh)
1	455	10,64860135048504
2	455	10,77399187899878
3	130	3,07918
4	130	3,07918
5	235,2920452278005	5,591134002535239
6	459,1111725162649	10,89556
7	465	11,00757297478320
8	60	1,42116
9	25,10093720904376	0,59215
10	25,00346512017433	0,59215
11	30,54355094681311	0,7964164414429051
12	54,88441190914026	1,330053351754845
13	25	0,59215
14	15,06441707076300	0,35529
15	15	0,35529

Total Emisi	61,10987999999998

Data emisi yang dihasilkan merupakan emisi yang berasal dari pembangkit *thermal* bukan dari *wind turbine* karena *wind turbine* tidak menghasilkan emisi pada sistem pembangkitannya. Beban di dalam tabel merupakan beban yang berasal dari algoritma *Random Drift Particle Swarm Optimization* dengan *wind turbine* pada sistem pembangkitan 15 unit generator IEEE. Adapun emisi yang dihasilkan terdiri dari Sulfur Dioksida (SO_2), Karbon Dioksida (CO_2), dan Nitrogen Oksida (NO_x). Karena pada Tugas Akhir ini emisi tidak dijadikan sebagai fungsi objektif, maka hasil emisi hanya ditampilkan angkanya secara terpisah.

4.4 Hasil Percobaan Beberapa Algoritma

Berdasar jurnal yang dijadikan acuan [1], sudah dilakukan beberapa percobaan dengan beberapa algoritma sebagai perbandingannya. Selain itu, akan dibandingkan juga hasil antara algoritma *Random Drift Particle Swarm Optimization* yang ada di jurnal dengan algoritma *Random Drift Particle Swarm Optimization* yang dilakukan pada Tugas Akhir ini.

Tabel 4.18 Perbandingan Hasil antar Algoritma 6 Unit Pembangkit IEEE dengan M=100 dan Iterasi=200 [1]

No	Algoritma	Biaya Minimum ($)
1	GA	15.445,5961
2	DE	15.444,9466
3	ACSA	15.445,3052
4	BCO	15.444,5837
5	AIS	15.446,3283
6	FA	15.445,9448
7	PSO (Jurnal)	15.444,7756
8	PSO (Tugas Akhir)	15.228,99376719151
9	SPSO	15.443,0188
10	CPSO	15.442,9892
11	APSO	15.445,5109
12	HGPSO	15.447,1055
13	HPSOM	15.443,6281
14	HPSOWM	15.442,8205

15	RDPSO (Jurnal)	15.442,7575
16	RDPSO (Tugas Akhir)	15.205,98255844994

Tabel 4.19 Perbandingan Hasil antar Algoritma 15 Unit Pembangkit IEEE dengan M=100 dan Iterasi=200 [1]

No	Algoritma	Biaya Minimum ($)
1	GA	32.939,5208
2	DE	32.818,5792
3	ACSA	32.785,6031
4	BCO	32.989,2341
5	AIS	32.895,9173
6	FA	32.901,6610
7	PSO (Jurnal)	32.715,0957
8	PSO (Tugas Akhir)	32.280,35076024132
9	SPSO	32.675,3597
10	CPSO	32.705,5390
11	APSO	32.687,9840
12	HGPSO	32.864,0501
13	HPSOM	32.697,2458
14	HPSOWM	32.696,9585
15	RDPSO (Jurnal)	32.666,1818
16	RDPSO (Tugas Akhir)	32.256,80548993397

Data-data di atas merupakan hasil percobaan yang dilakukan oleh penulis [1]. Dari hasil algoritma *Random Drift Particle Swarm Optimization* yang didapatkan dalam Tugas Akhir ini menunjukkan bahwa algoritma *Random Drift Particle Swarm Optimization* masih lebih baik dibandingkan dengan algoritma-algoritma lainnya, seperti yang ditunjukkan pada tabel-tabel di atas. Akan tetapi, ketika dibandingkan hasil algoritma *Random Drift Particle Swarm Optimization* antara jurnal dengan Tugas Akhir ini, biaya yang dihasilkan lebih minimal untuk Tugas Akhir, yaitu hemat sebesar 236,7749415501 Dollar/jam atau sebesar 3.078.074,2401513 Rupiah/jam dengan kurs (1 Dollar = 13.000 Rupiah).

BAB 5
PENUTUP

5.1 Kesimpulan

Dari hasil simulasi algoritma *Random Drift Particle Swarm Optimization* pada tugas akhir ini dapat ditarik beberapa kesimpulan, antara lain:

1. Penggunaan algoritma *Random Drift Particle Swarm Optimization* (RDPSO) dapat menghasilkan biaya yang lebih rendah dibandingkan algoritma *Particle Swarm Optimization* (PSO). Dari 6 unit pembangkit perbandingan antara RDPSO dengan PSO hemat sebesar Rp 299.145,713640801,00/jam. Sedangkan, untuk 15 unit pembangkit hemat sebesar Rp 306.088,513996208,00/jam.
2. Besarnya nilai iterasi mempengaruhi hasil simulasi pada tugas akhir ini. Setiap pembangkit memiliki nilai iterasi minimal tersendiri untuk mencapai nilai konvergen. Untuk data pembangkit ini, pada nilai iterasi ke-200 sudah dapat mencapai nilai konvergen.
3. Dalam pengerjaan Tugas Akhir ini, kekompleks-an dari suatu sistem pembangkit sangat mempengaruhi hasilnya. Pada kasus ini, simulasi yang digunakan lebih bekerja ketika data pembangkit lebih kompleks sehingga hasilnya lebih terlihat ketika dibandingkan dengan algoritma lainnya, seperti *Particle Swarm Optimization*.
4. Algoritma *Random Drift Particle Swarm Optimization* memiliki kecepatan konvergensi yang lebih baik dibandingkan dengan *Particle Swarm Optimization*. PSO mencapai titik konvergensi pada iterasi ke-85 sedangkan RDPSO sudah mencapai titik konvergensi pada iterasi ke-18.

5.2 Saran

Adapun saran yang dapat diberikan untuk penelitian di bidang sistem tenaga berdasarkan hasil dan analisa pada tugas akhir ini, antara lain:

1. Untuk penelitian ke depannya dengan menggunakan algoritma *Random Drift Particle Swarm Optimization* dapat

mempertimbangkan *losses* yang dihasilkan dalam sistem pembangkit.

2. Perlu dikembangkan lagi penelitian pada kasus ini dengan menambahkan komponen baterai sebagai *power balance* sehingga hasilnya yang didapatkan dapat mendekati *real system*.
3. Untuk penelitian ke depannya, faktor emisi bisa dimasukan ke dalam fungsi objektif tugas akhir.

DAFTAR PUSTAKA

[1] Jun Sun, Vasile Palade, Xiao-Jun Wu, Wei Fang, Zhenyu Wang, "Solving the Power Economic Dispatch Problem with Generator Constraints by Random Drift Particle Swarm Optimization", IEEE Transactions on Industrial Informatics, Vol. 10, No. 1, February 2014.

[2] Sulistijono, Primaditya., "Emission and Economic Dispatch of Micro Grid Using Multiobjective Genetic Algorithm Optimization", (2014)

[3] Eleanor Denny, Mark O'Malley, "Wind Generation, Power System Operation, and Emissions Reduction", IEEE Transactions on Power System, Vol. 21, No. 1, February 2006.

[4] B. H. Chowdhury and S. Rahman, "A review of recent advances in economic dispatch," *IEEE Trans Power Syst.*, vol. 5, no. 4, pp. 1248–1259, Apr. 1990.

[5] S. Granville, "Optimal reactive dispatch through interior point methods," *IEEE Trans Power Syst.*, vol. 9, no. 1, pp. 136–146, Feb. 1994.

[6] R. N. Dhar and P. K. Mukherjee, "Reduced-gradient method for economic dispatch," *Proc. Inst. Elec. Eng.*, vol. 120, no. 5, pp. 608–610, May 1973.

[7] Z. X. Liang and J. D. Glover, "A zoom feature for a dynamic programming solution to economic dispatch including transmission losses," *IEEE Trans Power Syst.*, vol. 7, no. 2, pp. 544–550, Feb. 1992.

[8] A. Bakirtzis, V. Petridis, and S. Kazarlis, "Genetic algorithm solution to the economic dispatch problem," *Proc. Inst. Elect. Eng.-Gen., Transm. Dist.*, vol. 141, no. 4, pp. 377–382, Jul. 1994.

[9] Z.-L. Gaing, "Particle swarm optimization to solving the economic dispatch considering the generator constraints," *IEEE Trans. Power Syst.*, vol. 18, no. 3, pp. 1187–1195, Aug. 2003.

[10] M. Vanitha and K. Thanushkodi, "Solution to economic dispatch problem by differential evolution algorithm considering linear equality and inequality constrains," *Int. J. Res. Rev. Elec. Comp. Eng.*, vol. 1, no. 1, pp. 21–27, Mar. 2011.

[11] Y. M. Park, J. R. Won, and J. B. Park, "A new approach to economic load dispatch based on improved evolutionary

programming," *Eng. Intell. Syst. Elect. Eng. Commun.*, vol. 6, no. 2, pp. 103–110, Jun. 1998.

[12] W. M. Lin, F. S. Cheng, and M. T. Tsay, "An improved Tabu search for economic dispatch with multiple minima," *IEEE Trans. Magn.*, vol. 38, pp. 1037–1040, Mar. 2002.

[13] K. Y. Lee, A. Sode-Yome, and J. H. Park, "Adaptive Hopfield neural network for economic load dispatch," *IEEE Trans. Power Syst.*, vol. 13, pp. 519–526, May 1998.

[14] T. Sum-Im, "Economic dispatch by ant colony search algorithm," in *Proc. 2004 IEEE Conf. Cybe. Intell. Syst.*, Dec. 2004, vol. 1, pp. 416–421.

[15] T. K. Abdul Rahman, Z. M. Yasin, and W. N. W. Abdullah, "Artificial-immune-based for solving economic dispatch in power system," in *Proc. 2004 Nat. Power Energy Conf.*, 2004, pp. 31–35.

[16] C. Chokpanyasuwan, "Honey bee colony optimization to solve economic dispatch problem with generator constraints," in *Proc. 6th Int. Conf. Electron. Eng./Elect., Comp., Telecom. Inf. Tech.*, May 2009, vol. 1, pp. 200–203.

[17] X.-S. Yang, S. S. S. Hosseini, and A. H. Gandomi, "Firefly algorithm for solving non-convex economic dispatch problems with valve loading effect," *Appl. Soft Comput.*, vol. 12, pp. 1180–1186, 2012.

[18] C.-P. Cheng, C.-W. Liu, and C.-C. Liu, "Unit commitment by annealing-genetic algorithm," *Elect. Power & Energy Syst.*, vol. 24, pp. 149–158, 200.

[19] Saadat, Hadi, "Power System Analysis 2nd Edition", McGrowHill, Ch.1, 1999.

LAMPIRAN

I. *Script* Algoritma *Random Drift Particle Swarm Optimization*

```
% Tugas Akhir #114
% Mikhael Vidi Santoso
% 2212100151
% Random Drift Particle Swarm Optimization

clc;
clear;
clear all;

% -----------------NILAI AWAL PEMBANGKIT--------
---------------
pop_size=100;
posisi_partikel=zeros(pop_size,15);
batas=[150 455
       150 455
       20  130
       20  130
       150 470
       135 460
       135 465
       60  300
       25  162
       25  160
       20  80
       20  80
       25  85
       15  55
       15  55];

beban2=2630;
vmin=0;
vpar=zeros(pop_size,15);
data=[671 10.1 0.000299
      574 10.2 0.000183
      374 8.8  0.001126
      374 8.8  0.001126
      461 10.4 0.000205
```

```
        630 10.1 0.000301
        548 9.8  0.000364
        227 11.2 0.000338
        173 11.2 0.000807
        175 10.7 0.001203
        186 10.2 0.003586
        230 9.9  0.005513
        225 13.1 0.000371
        309 12.1 0.001929
        323 12.4 0.004447];

maxit=200;
cost=zeros(pop_size,1);
c1=2.05;
c2=2.05;
 for i=1:pop_size
        for j=1:15
            r1(i,j)=unifrnd(0,1);
            r2(i,j)=unifrnd(0,1);
        end
 end
alfa=0.7;
beta=1.45;
lambda=normrnd(0,1);

% %==========DATA WIND TURBINE============

v = 10;                                 %
Kecepatan angin WT dalam m/s
J = 5;                                  % Jumlah
WT

Pwt = datawindturbine(v,J);

if beban2 < Pwt
   Pwt = beban2;
   fprintf('Daya Turbin Angin = %10.7f', Pwt)
   fprintf('\n')
else
```

```
    beban = beban2-Pwt;

% -----------------INISIALISASI POSISI PARTIKEL--
-------------------
% --------------------posisi awal partikel------
-------------------

    for i=1:pop_size
        p1=batas(1,1)+((batas (1,2) - batas
(1,1))*rand);
        p2=batas(2,1)+((batas (2,2) - batas
(2,1))*rand);
        p3=batas(3,1)+((batas (3,2) - batas
(3,1))*rand);
        p4=batas(4,1)+((batas (4,2) - batas
(4,1))*rand);
        p5=batas(5,1)+((batas (5,2) - batas
(5,1))*rand);
        p6=batas(6,1)+((batas (6,2) - batas
(6,1))*rand);
        p7=batas(7,1)+((batas (7,2) - batas
(7,1))*rand);
        p8=batas(8,1)+((batas (8,2) - batas
(8,1))*rand);
        p9=batas(9,1)+((batas (9,2) - batas
(9,1))*rand);
        p10=batas(10,1)+((batas (10,2) - batas
(10,1))*rand);
        p11=batas(11,1)+((batas (11,2) - batas
(11,1))*rand);
        p12=batas(12,1)+((batas (12,2) - batas
(12,1))*rand);
        p13=batas(13,1)+((batas (13,2) - batas
(13,1))*rand);
        p14=batas(14,1)+((batas (14,2) - batas
(14,1))*rand);
        p15=batas(15,1)+((batas (15,2) - batas
(15,1))*rand);
```

```
    posem= [p1 p2 p3 p4 p5 p6 p7 p8 p9 p10 p11
p12 p13 p14 p15];
    dayaterpakai=sum(posem,2);

% --------------daya terpakai=beban-------------
---
    if dayaterpakai>beban
        dayalebih=dayaterpakai-beban;
        for j=1:maxit
            k=round(1+(15-1)*rand(1,1));
            x=posem(1,k);
            posem(1,k)=posem(1,k)-dayalebih;
            if posem(1,k)<batas(k,1)
               posem(1,k)=batas(k,1);
            end
           dayalebih=dayalebih-(x-posem(1,k));
        end
    end
    if dayaterpakai<beban
       dayakurang=beban-dayaterpakai;
        for j=1:maxit
            k=round(1+(15-1)*rand(1,1));
            y=posem(1,k);
            posem(1,k)=posem(1,k)+dayakurang;
            if posem(1,k)>batas(k,2)
               posem(1,k)=batas(k,2);
            end
            dayakurang=dayakurang-(posem(1,k)-
y);
        end
    end
    posisi_partikel(i,:)=posem(1,:);
    total_posem=sum(posisi_partikel,2);
end
posisi_partikel;

% % --------------INSIALISASI KECEPATAN AWAL----
-----------------
vmax=zeros(pop_size,15);
```

```
 for i=1:pop_size
     for j=1:15
         vmax(i,j) = 0.5*(batas(j,2)-
batas(j,1))*unifrnd(0,1);
     end
 end
 vpar=(vmax-vmin)*rand+vmin;

% % -----------------BIAYA AWAL-----------------
------
 for i=1:pop_size
     for j=1:15

cost(i,j)=data(j,1)+posisi_partikel(i,j)*data(j,
2)+data(j,3)*posisi_partikel(i,j)^2;
     end
 end
 cost_awal=cost;

%  -----------------HARGA PEMBANGKIT MURAH------
--------------
harga_pembangkit=sum(cost,2);
[harga_optimum,line]=min(harga_pembangkit);
record_harga_optimum(1,1)= harga_optimum;
record_harga_teroptimum(1,1)= harga_optimum;

% --------PBEST & GBEST-----------
pbest=posisi_partikel;
gbest=posisi_partikel(line,:);

%==========MEAN BEST POSITION=========
c=mean(pbest);

% --------Local Focus ---------------------
    for i=1:pop_size
        for j=1:15

p(i,j)=(c1*r1(i,j)*pbest(i,j)+c2*r2(i,j)*gbest(j
))/(c1*r1(i,j)+c2*r2(i,j));
```

```
        end
    end

%====Constriction Factor
amin = 0.4;
amaks = 0.9;
iter=1;

for at=2:maxit
    biaya_awal=harga_pembangkit;

    % -------------UPDATE KECEPATAN-------------
---
    for i=1:pop_size
        for j=1:15
            vpar(i,j)=((amin+(at/maxit)*(amaks-
amin))*alfa*(abs(c(j)-
posisi_partikel(i,j)))*lambda)+(beta*(p(i,j)-
posisi_partikel(i,j)));
        end
    end
    vpar;

    % ------------UPDATE POSISI--------------
    for i=1:pop_size
        for j=1:15

posisi_partikel(i,j)=posisi_partikel(i,j)+vpar(i
,j);
            if posisi_partikel(i,j)<batas(j,1)
                posisi_partikel(i,j)=batas(j,1);
            elseif
posisi_partikel(i,j)>batas(j,2)
                posisi_partikel(i,j)=batas(j,2);
            end
        end
    end
    posisi_partikel;
    dayaterpakai=sum(posisi_partikel,2);
```

```
    % --------------daya terpakai=beban(2)------
----------
    for id=1:pop_size
    if dayaterpakai(id)>beban
        dayalebih=dayaterpakai(id)-beban;
        for i=1:maxit
            k=round(1+(15-1)*rand(1,1));
            x=posisi_partikel(id,k);

posisi_partikel(id,k)=posisi_partikel(id,k)-
dayalebih;
            if posisi_partikel(id,k)<batas(k,1)
                posisi_partikel(id,k)=batas(k,1);
            elseif
posisi_partikel(id,k)>batas(k,2)
                posisi_partikel(id,k)=batas(k,2);
            end
            dayalebih=dayalebih-(x-
posisi_partikel(id,k));
        end
    end
    if dayaterpakai(id)<beban
       dayakurang=beban-dayaterpakai(id);
       for i=1:maxit
           j=round(1+(15-1)*rand(1,1));
           y=posisi_partikel(id,j);

posisi_partikel(id,j)=posisi_partikel(id,j)+daya
kurang;
            if posisi_partikel(id,j)<batas(j,1)
               posisi_partikel(id,j)=batas(j,1);
            elseif
posisi_partikel(id,j)>batas(j,2)
                posisi_partikel(id,j)=batas(j,2);
            end
            dayakurang=dayakurang-
(posisi_partikel(id,j)-y);
        end
```

```
    end
    end
    posisi_partikel;

    % ----------------UPDATE BIAYA----------------
------
    for i=1:pop_size
        for j=1:15

cost(i,j)=data(j,1)+posisi_partikel(i,j)*data(j,
2)+data(j,3)*posisi_partikel(i,j)^2;
        end
    end

    % ----------LISTING BIAYA PEMBANGKIT--------
-
    harga_pembangkit = sum(cost,2);
    [harga_optimum,line] =
min(harga_pembangkit);
    record_harga_optimum(at,1) = harga_optimum;

    % --------UPDATE PBEST MASING PARTIKEL------
----
    for i=1:pop_size
        if biaya_awal(i,1) >
harga_pembangkit(i,1)
            pbest(i,:) = posisi_partikel(i,:);
        else
            pbest(i,:) = pbest(i,:);
        end
    end
    pbest;

    % ------ UDPATE GBEST MASING PARTIKEL ------
--
    [cgbest, baris] =
min(record_harga_optimum(:,1));
    record_harga_teroptimum(at,1) = cgbest;
```

```
    if record_harga_optimum(at,1) <
record_harga_optimum(at-1,1)
        gbest = posisi_partikel(line,:);
    else
        gbest = gbest;
    end

    %===========MEAN BEST POSITION=========

c=mean(pbest);

% --------Local Focus --------------------
    for i=1:pop_size
        for j=1:15

p(i,j)=((c1*r1(i,j))/(c1*r1(i,j)+c2*r2(i,j)))*pb
est(i,j)+(1-
((c1*r1(i,j))/(c1*r1(i,j)+c2*r2(i,j))))*gbest(j)
;
        end
    end
    posisi_partikel;
end

fprintf('\n')
fprintf('=======================================
============')
fprintf('\n')
fprintf('                Mikhael Vidi Santoso')
fprintf('\n')
fprintf('      Random Drift Particle Swarm
Optimization')
fprintf('\n')
fprintf('=======================================
============')
fprintf('\n')
fprintf('            Jurusan Teknik Elektro
ITS')
fprintf('\n')
```

```
fprintf('                    2212100151')
fprintf('\n')
fprintf('\n')
fprintf('\n')
fprintf('Daya Turbin Angin = %10.7f', Pwt)
fprintf('\n')
fprintf('\n')
end

gbest
biaya_total = cgbest
figure,plot(record_harga_teroptimum)
title('Grafik Konvergensi RDPSO')
xlabel('Iterasi')
ylabel('Biaya')
pembangkitan_total = sum(gbest,2)
```

II. Scipt *Wind Turbine*

```
%=================================================
================================
% Mikhael Vidi Santoso
% 2212100151
% Memodelkan wind turbine wt1000dd
%=================================================
================================

function Pwt = datawindturbine(v,J)   %
Pembangkitan WT dalam MW

Vac = v;
Vci = 4;           % Kecepatan angin cut in dalam
m/s
Vr  = 11.5;         % Kecepatan angin rating
dalam m/s
Vco = 30;

% Kecepatan angin cut out dalam m/s
```

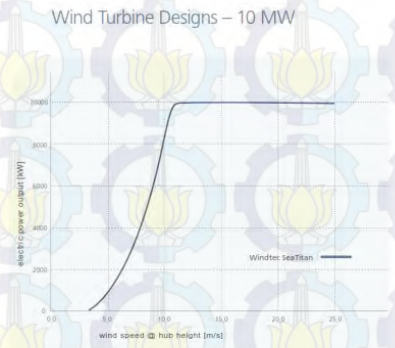
```
if Vco > Vr
    if Vac < Vci,
        Pwt = 0;
    end
    if Vac >= Vci,
        if Vac < Vr,
            Pwt = (((-36.28542743886028
*(Vac^2)) + (1421.889834478780*Vac) + (-
3403.023726051702))/1000)*J;
        else
            Pwt = (10000/1000)*J;
        end
    end
end
end
```

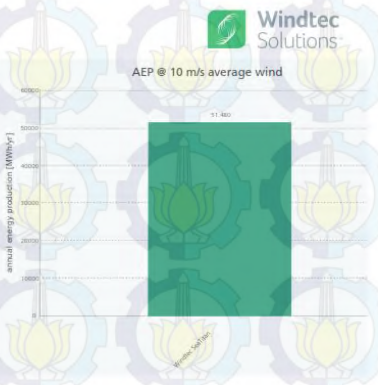
III. Script Emisi

```
% Tugas Akhir #114
% Mikhael Vidi Santoso
% 2212100151
% Random Drift Particle Swarm Optimization -
Emission

clc;
clear;
clear all;

% function emisi = Emisi (x)

x(1)=455;
x(2)=455;
x(3)=130;
x(4)=130;
x(5)=274.6474211726658;
x(6)=459.9757473148788;
x(7)=465;
x(8)=60;
```

```
x(9)=25.00476966567259;
x(10)=25;
x(11)=41.02033246327363;
x(12)=54.33161685642456;
x(13)=25.00269043884639;
x(14)=15.01742208823798;
x(15)=15;

% Faktor Emisi Diesel Generator 1-6 dalam g/kWh
NO_DG =  21.8;              % Faktor Emisi NOx
SO_DG = 0.454;              % Faktor Emisi SO2
CO_DG = 1.432;              % Faktor Emisi CO2

%Emisi Total dalam g
emisi (1) = x(1)*(NO_DG + SO_DG + CO_DG)/1000
emisi (2) = x(2)*(NO_DG + SO_DG + CO_DG)/1000
emisi (3) = x(3)*(NO_DG + SO_DG + CO_DG)/1000
emisi (4) = x(4)*(NO_DG + SO_DG + CO_DG)/1000
emisi (5) = x(5)*(NO_DG + SO_DG + CO_DG)/1000
emisi (6) = x(6)*(NO_DG + SO_DG + CO_DG)/1000
emisi (7) = x(7)*(NO_DG + SO_DG + CO_DG)/1000
emisi (8) = x(8)*(NO_DG + SO_DG + CO_DG)/1000
emisi (9) = x(9)*(NO_DG + SO_DG + CO_DG)/1000
emisi (10) = x(10)*(NO_DG + SO_DG + CO_DG)/1000
emisi (11) = x(11)*(NO_DG + SO_DG + CO_DG)/1000
emisi (12) = x(12)*(NO_DG + SO_DG + CO_DG)/1000
emisi (13) = x(13)*(NO_DG + SO_DG + CO_DG)/1000
emisi (14) = x(14)*(NO_DG + SO_DG + CO_DG)/1000
emisi (15) = x(15)*(NO_DG + SO_DG + CO_DG)/1000
sum(emisi)
% end
```

IV. Data *Wind Turbine*





TECHNICAL DATA	
Type:	wt10000dd
Grid frequency:	50 Hz / 60 Hz
Tilt angle rotor axis:	5°
Hub height:	125 m
Hub type / material:	cast iron
Mainframe type:	cast iron
Type of tower construction:	conical tubular steel tower
Rotor diameter:	190 m
Lightning conductor:	integrated
OPERATING DATA	
Cut-in wind speed:	4 m/s
Rated wind speed:	11.5 m/s
Cut-out wind speed:	30 m/s
GENERATOR AND POWER ELECTRONICS	
Generator type:	HTS synchronous
Rated driving power:	12,000 kVA
Rated generator speed:	10 rpm
Number of poles:	multi-pole
Cooling:	cryogenic and water cooling
Converter type:	IGBT, 4-quadrant
Generator rated power	0.95 inductive to 0.95 capacitive at 690V ph-ph
DRIVETRAIN SPECIFICATION	
Type of gearing:	direct drive
Gear lubrication:	-
Connection gear / generator:	-
BRAKING SYSTEM	
Operational brake:	individual blade pitching
Type of construction:	gear/servomotor
Mechanical brake:	disc brake

YAW SYSTEM

Type of yaw bearing:	ball bearing
Drive unit:	gear motor
Number of drive units:	tbd
Brake:	active brake plus motor brake

AMBIENT TEMPERATURE RANGE

Normal:	During operation:	-10°C to 40°C
	Survival range:	-20°C to 50°C

Riwayat Hidup

Mikhael Vidi Santoso, pemuda kelahiran Jakarta, 5 Juni 1994. Penulis berasa dari Kota Bekasi. Penulis merupakan anak pertama dari empat bersaudara dari pasangan Dewanto Permana Budi dan Lolo Saida Hayati. Penulis memiliki hobi bermain musik, *travellin*g, dan olahraga. Selama masa perkuliahan, penulis aktif di beberapa kegiatan, antara lain HIMATEKTRO ITS, ITS International Office, dan PMK ITS. Selain itu, penulis juga berhasil mendapatkan beasiswa dari Pertamina Foundation.

Penulis melanjutkan pendidikan S1 di Institut Teknologi Sepuluh Nopember, Surabaya dan mengambil Jurusan Teknik Elektro, bidang studi Teknik Sistem Tenaga. Sebelumnya, dari tahun 2009-2012, penulis menjalani masa putih abu-abu di SMA Negeri 1 Bekasi. Buku Tugas Akhir ini disusun guna memenuhi persyaratan memperoleh gelar Sarjana Teknik (S. T.).

E-mail : mikhaelvidi@gmail.com
vidi12@mhs.ee.its.ac.id

[Halaman ini sengaja dikosongkan]