

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

Mikhael Vidi Santoso, Rony Seto Wibowo, dan Adi Soeprijanto

Jurusan Teknik Elektro, Fakultas Teknologi Industri, Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS)

Jl. Arief Rahman Hakim, Surabaya 60111

E-mail: mikhaelvidi@gmail.com, ronyseto@ee.its.ac.id, adisup@ee.its.ac.id

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 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.

Kata Kunci— *Random Drift Particle Swarm Optimization, Economic Dispatch, Emission*

I. PENDAHULUAN

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 Proposal 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 CO₂, SO₂, 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.

II. *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 tradisional permasalahan *economic dispatch* dapat diselesaikan dengan berbagai variasi metode programming 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 persamaan biaya yang tidak linear.

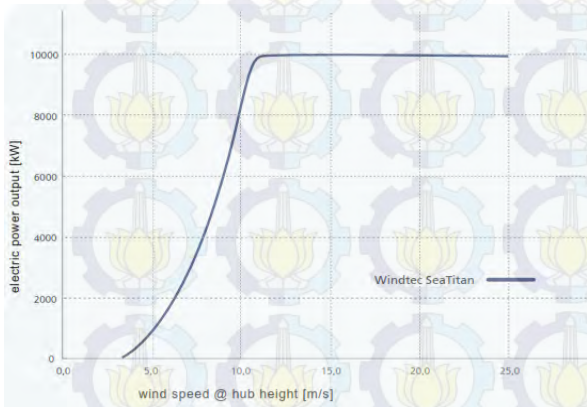
Seiring perkembangan ilmu pengetahuan, metode – metode baru bermunculan. Metode metode baru ini menggunakan basis pencarian random populasi bilangan dan komputasi cerdas dalam memecahkan permasalahan *ED*. *Genetic algorithms (GA)* [8], *particle swarm optimization (PSO)* [9], *differential evolution (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.

A. PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA ANGIN

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.

B. PENERAPAN WIND TURBINE WT1000DD



Gambar 1 Kurva daya actual dan modelnya dari wt1000dd

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

$$P_{WT} = 0, \quad V_{ac} < V_{ci} \quad (1)$$

$$P_{WT} = aV_{ac}^2 + bV_{ac} + c, \quad V_{ci} \leq V_{ac} < V_r \quad (2)$$

$$P_{WT,r} = 10000, \quad V_r \leq V_{ac} < V_{co} \quad (3)$$

$$P_{WT,r} = J \times P_{WT} \quad (4)$$

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:

$$a = -30.61660561660564$$

$$b = 1260.970695970697$$

$$c = -2544.566544566551$$

$$P_{WT,r} = 10000$$

$$V_{ci} = 4$$

$$V_{co} = 30$$

$$V_r = 11,5$$

III. PENERAPAN RANDOM DRIFT PARTICLE SWARM OPTIMIZATION

A. 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, $p_{i,n} = (p_{i,n}^1, p_{i,n}^2, \dots, p_{i,n}^N)$ didefinisikan oleh koordinat:

$$p_{i,n}^j = \varphi_{i,n}^j Y_{i,n}^j + (1 - \varphi_{i,n}^j) G_{i,n}^j, \quad \varphi_{i,n}^j \sim U(0,1) \quad (5)$$

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:

$$VR_{i,n+1}^j = \sigma_{i,n}^j \lambda_{i,n+1}^j \quad (6)$$

$$VD_{i,n+1}^j = \beta (p_{i,n}^j - X_{i,n}^j) \quad (7)$$

Pada persamaan (6), $\lambda_{i,n+1}^j$ adalah nilai acak dengan standar distribusi normal dan $\sigma_{i,n}^j$ adalah standar deviasi pada distribusi Gaussian, dimana nilainya dideterminasi secara adaptif dengan:

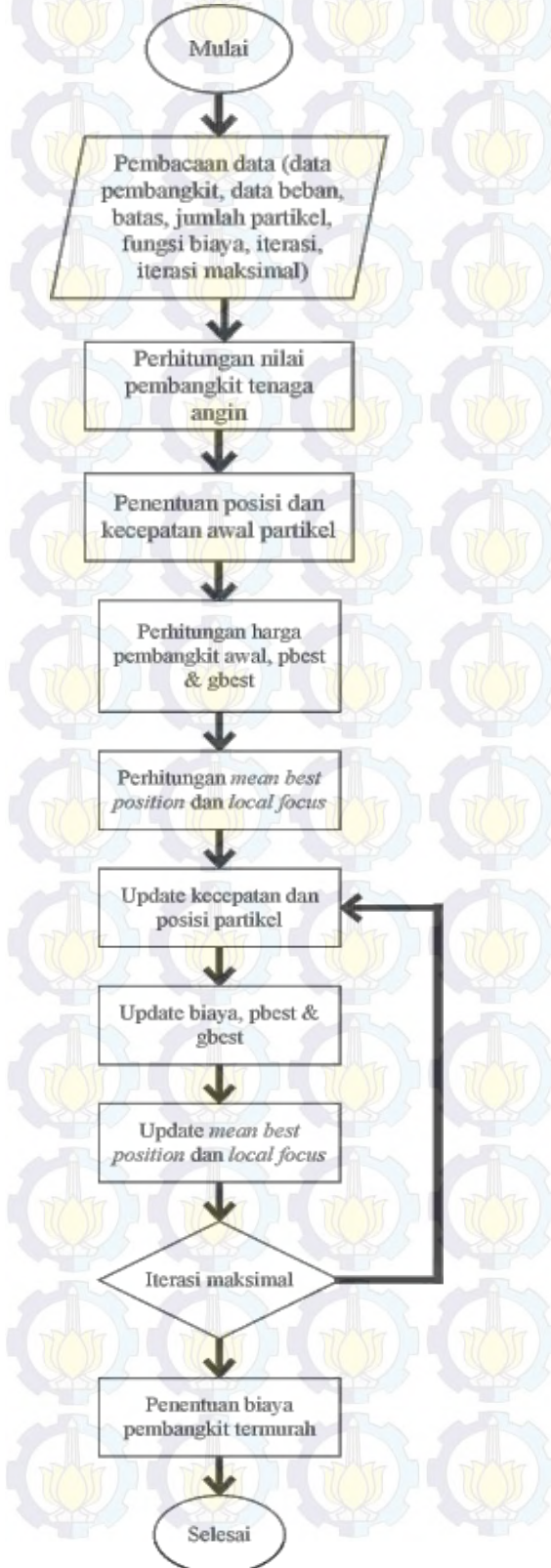
$$\sigma_{i,n}^j = \alpha |C_n^j - X_{i,n}^j| \quad (8)$$

dimana $C_n^j = \left(\frac{1}{M}\right) \sum_{i=1}^M Y_{i,n}^j, (1 \leq j \leq N)$ dan disebut sebagai *mean best position*. Pada persamaan (7), $p_{i,n}^j$ didefinisikan oleh (5). Pada persamaan (7) dan (8), 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 hukum kecepatan distribusi Maxwell. Hal ini juga dapat dilihat pada persamaan (7) 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:

$$V_{i,n}^j = \alpha |C_n^j - X_{i,n}^j| \lambda_{i,n+1}^j + \beta (p_{i,n}^j - X_{i,n}^j) \quad (9)$$

$$X_{i,n+1}^j = X_{i,n}^j + V_{i,n+1}^j \quad (10)$$



B. SISTEM PEMBANGKIT IEEE

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

Tabel 1 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 2 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 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 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 |

Gambar 2 Diagram Alir Random Drift Particle Swarm Optimization

Tabel 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 |

C. 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 = 14 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

IV. HASIL SIMULASI DAN ANALISA DATA

A. 6 UNIT PEMBANGKIT IEEE

Pada studi kasus ini 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 6 Hasil Perhitungan dengan Algoritma *Particle Swarm Optimization* tanpa *Wind Turbine*

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

Tabel 7 Hasil Perhitungan dengan Algoritma *Random Drift Particle Swarm Optimization* tanpa *Wind Turbine*

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

Tabel 8 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 | | |

Dapat disimpulkan bahwa antara penggunaan algoritma *Particle Swarm Optimization* (tanpa *wind turbine*) dengan algoritma *Random Drift Particle Swarm Optimization* (tanpa *wind turbine*) 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. Sedangkan, antara RDPSO tanpa *wind turbine* (Tabel 7) dengan RDPSO *wind turbine* (Tabel 8) didapatkan biaya yang lebih murah. 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 penggunaannya.

Tabel 9 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 10 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 |

B. 15 UNIT PEMBANGKIT IEEE

Pada studi kasus ini 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 11 Hasil Perhitungan dengan Algoritma *Particle Swarm Optimization* tanpa *Wind Turbine*

| Unit | Total Beban (MW/h) | Total Biaya (\$/h) |
|--------------|--------------------|--------------------|
| 1 | 455 | 32.280,35076024132 |
| 2 | 420,7160180162491 | |
| 3 | 130 | |
| 4 | 130 | |
| 5 | 324,2839819837511 | |
| 6 | 460 | |
| 7 | 465 | |
| 8 | 60 | |
| 9 | 25 | |
| 10 | 25 | |
| 11 | 20 | |
| 12 | 20 | |
| 13 | 25 | |
| 14 | 15 | |
| 15 | 55 | |
| Total | 2.630 | |

Tabel 12 Hasil Perhitungan dengan Algoritma *Random Drift Particle Swarm Optimization* tanpa *Wind Turbine*

| Unit | Total Beban (MW/h) | Total Biaya (\$/h) |
|--------------|--------------------|--------------------|
| 1 | 455 | 32.256,80548993397 |
| 2 | 455 | |
| 3 | 130 | |
| 4 | 130 | |
| 5 | 274,6474211726658 | |
| 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 13 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 | | |

wind turbine) 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. Sedangkan, antara RDPSO tanpa *wind turbine* (Tabel 12) dengan RDPSO *wind turbine* (Tabel 13) didapatkan biaya yang lebih murah. 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 penggunaannya.

Tabel 14 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 15 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 |

C. PERBANDINGAN DENGAN BEBERAPA ALGORITMA

Berdasar jurnal yang dijadikan acuan [1], sudah dilakukan beberapa percobaan dengan beberapa algoritma sebagai perbandingannya. Selain itu, akan dibandingkan juga hasil

Dapat disimpulkan bahwa antara penggunaan algoritma *Particle Swarm Optimization* (tanpa *wind turbine*) dengan algoritma *Random Drift Particle Swarm Optimization* (tanpa

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 16 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 17 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 |

V. KESIMPULAN DAN RINGKASAN

Berdasarkan hasil yang telah didapatkan dari proses pengujian dan analisis didapat kesimpulan bahwa penggunaan algoritma *Random Drift Particle Swarm Optimization* dapat menghasilkan biaya yang lebih rendah dibandingkan algoritma *Particle Swarm Optimization*, bahkan beberapa algoritma lainnya. Kemudian, 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-400 sudah dapat mencapai nilai konvergen. Dalam pengerjaan Tugas Akhir ini, kekompleksan 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*.

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, 2000.

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