

OPTIMASI DINAMIKA OPERASI EKONOMIS MENGGUNAKAN *THUNDERSTORM ALGORITHM*

A.N. Afandi¹, Yunis Sulistyorini²

¹Teknik Elektro, Universitas Negeri Malang, Malang, ²Matematika, IKIP Budi Utomo, Malang
¹an.afandi@ieee.org, ²yunis.sulistyorini@gmail.com

Abstrak

Dewasa ini, upaya untuk mencari solusi permasalahan riil semakin banyak didekati menggunakan teknik optimasi, baik menggunakan metode klasik atau intelijen komputasi. Pada perkembangannya, banyak model dikembangkan secara matematis dan banyak metode intelijen komputasi diterapkan pada berbagai persoalan riil. Hal ini digunakan untuk membantu mengambil keputusan operasional berdasarkan formulasi matematis dan mencari hasil optimal pada proses penyelesaiannya. Salah satunya adalah persoalan *dynamic economic dispatch* (DED), yang merupakan masalah kombinasi unit-unit produksi untuk memenuhi kebutuhan perubahan permintaan energi selama 24 jam. Selain itu, dengan semakin populernya penggunaan metode intelijen komputasi, semakin membuat metode ini berkembang dan memiliki variasi yang beragam. Pada pembahasan ini, persoalan DED dikaji dengan melibatkan batasan teknis dan standar emisi, yang kesemuanya diintegrasikan dalam pernyataan matematis. Disamping itu, persoalan tersebut juga dikaji menggunakan model interkoneksi IEEE-62 bus system untuk memberikan perspektif performansi *Thunderstorm Algorithm* (TA) sebagai metode baru intelijen komputasi dalam penyelesaian kasus DED. Hasil simulasi menunjukkan bahwa algoritma ini mampu mendapatkan solusi optimal dengan siklus yang cepat. Proses komputasinya juga berlangsung dengan konvergenitas yang stabil dan halus. Pada rentang 24 jam, DED dioptimasi dengan perbedaan hasil pada kecepatan; daya keluaran; produksi emisi; dan biaya operasi, baik secara individu atau sebagai unit komitmen untuk setiap jam operasi.

Kata kunci : biaya, daya, *dynamic economic dispatch*, solusi optimal, *thunderstorm algorithm*

1. Pendahuluan

Saat ini, berbagai pendekatan telah dilakukan untuk mendapatkan solusi optimal pada operasi riil atau menyelesaikan persoalan praktis, terutama untuk memecahkan masalah-masalah krusial melalui formulasi matematis yang terkait dengan penyediaan barang; transportasi; energi; produksi; dan lainnya. Dalam konteks seperti itu, sangat penting untuk mampu menyelesaikan dan mencari solusi optimal atas keberlangsungan penyediaannya secara teratur dan kontinyu. Sehingga semua proses yang dihasilkan melalui berbagai variasi kombinasi solusi dalam formulasi matematis, masih memenuhi kriteria teknis dan ekonomis. Oleh karena itu dari sisi ekonomis, sangat penting mendefinisikan permasalahan dalam formulasi finansial untuk mendeskripsikan biaya operasi dalam kurun waktu yang dijalankan, sesuai dengan kriteria teknis yang ditetapkan. Dalam konteks seperti tersebut, contohnya penyediaan daya listrik, operasi ini juga mulai mengadopsi batasan polusi lingkungan sebagai bagian dari batasan non teknis Ioannis (2003), Yong (2006), Zeljko (2007), Yunzhi (2009), Afandi (2014). Sehingga kajian persoalan riil tersebut juga mulai mengarah pada berbagai

kemungkinan masalah ikutannya yang timbul selama sistem dioperasikan Zeljko (2007), Afandi (2014), Bishnu (2013), Bommirani (2013), Farhat (2009).

Selanjutnya, untuk mencari solusi optimal sesuai dengan kebutuhan teknis dan non teknis, banyak metode yang digunakan, baik menggunakan metode klasik ataupun intelijen komputasi Ioannis (2003), Afandi (2014), Bishnu (2013), Mukesh (2012). Pada implementasinya, penggunaan metode klasik banyak mengalami hambatan, terutama ketika batas non teknis dimasukkan, serta lemah untuk diterapkan pada persoalan yang besar dengan beragam limitasi dan kombinasi Afandi (2014), Bishnu (2013). Saat ini penggunaan intelijen komputasi lebih populer dibandingkan dengan generasi pendekatan awalnya. Implementasi ini mampu menggeser peranan metode klasik selama ini yang digunakan untuk persoalan optimasi dengan berbagai variasi metodenya, seperti metode kwadratik, metode Newton; *dynamic programming*; metode linear; iterasi lambda; dan metode relaksasi lagrangian Mukesh (2012), El-Keib (1994), Ahmed (1995), Subramanian (2010). Selanjutnya, intelijen komputasi juga terus dikembangkan dengan berbagai variasi evolusi algoritma dan diterapkan pada sistem atau persoalan yang besar. Beberapa

metode intelijen komputasi yang populer diantaranya mencakup algoritma genetik, *neural network*, simulasi antivirus, pemrograman evolusi, algoritma semut, *particle swarm optimization*, dan *harvest season artificial bee colony algorithm* Ioannis (2003), Bishnu (2013), Gopalakrishnan (2011), Afandi et all (2014), Gaing (2003), Christopher (2012), Ho (2005). Sebagai bagian dari pengembangan intelijen komputasi dan implementasinya pada sistem riil, maka artikel ini menyajikan intelijen komputasi *Thunderstorm Algorithm* (TA), yang diterapkan pada persoalan DED dengan berbagai kriteria teknis dan non teknis.

2. Thunderstorm Algorithm

Secara umum, TA diinspirasi oleh multi sambaran petir atau badai petir yang berasal dari gumpalan awan yang berdekatan, dengan tingkat perbedaan muatan yang tinggi antara tanah dan awan, serta awan dan awan yang juga memiliki perbedaan muatan. Selain itu, kondisi lingkungan dengan kandungan partikel pada uap air yang menyatu dalam awan juga menjadi perhatian lebih pada proses transformasi mekanisme pembentukannya. Sehingga, produksi sambaran badai petir menjadi suatu pola tertentu yang menyalurkan semua muatan, melalui jalur khusus yang terbentuk sebagai jalan menguras kandungan muatan. Dengan inspirasi badai petir inilah TA diperkenalkan sebagai upaya untuk mentransformasikan semua gejala dan kejadian di alam menjadi suatu intelijen komputasi Afandi (2016), A.N. Afandi (2016), A.N (2016).

Secara umum, proses komputasi dalam TA untuk mendapatkan solusi diekskusi melalui beberapa tahap yang saling berkaitan. Masing-masing fase tersebut memiliki mekanisme tersendiri dan saling mendukung proses pencapaian titik optimal dalam hirarki komputasinya yang ada. Selanjutnya, prinsip dan prosedur komputasi dalam TA dinyatakan menggunakan *pseudo-codes* sebagai berikut Afandi (2016), A.N. Afandi (2016), A.N (2016):

- Fase Awan (*Cloud Phase*): membuat gugusan awan, mengevaluasi awan, dan menentukan sambaran awal;
- Fase Aliran (*Streamer Phase*): menentukan aliran awal, memproduksi arah sambaran badai, mengevaluasi arah badai, dan menentukan jalur aliran;
- Fase Avalan (*Avalanche Phase*): mengevaluasi jalur avalan, dan penggantian jalur mati.

Selanjutnya, proses pembentukan gugusan awan dibangkitkan menggunakan persamaan (1), dan arah sambaran badai dinyatakan dalam persamaan (2) dengan probabilitas tiap muatan dinyatakan dalam (3). Secara matematis, algoritma ini dinyatakan dalam persamaan utama berikut ini:

$$\text{Gugusan awan: } Q_{sj}^m = (1 + k \cdot c) \cdot Q_{midj}^m, \quad (1)$$

$$\text{Depleksi sambaran: } D_{sj}^n = (Q_{sdep}^n) \cdot b \cdot k, \quad (2)$$

$$\text{Probabilitas: } \text{prob}Q_{sj} \begin{cases} \frac{Q_{sj}^m}{\sum Q_s^m} \text{ for } m \\ \frac{Q_{sj}^n}{\sum Q_s^n} \text{ for } n \end{cases}, \quad (3)$$

dimana Q_{sj} adalah muatan terkini, Q_{midj} adalah nilai tengah rentang muatan, s adalah aliran, D_{sj} adalah posisi sambaran, Q_{sdep} adalah jarak depleksi, n adalah arah sambaran untuk h^{th} , k adalah bilangan acak antara -1 dan 1, c adalah bilangan acak antara 1 dan h , h adalah faktor badai, b adalah bilangan acak antara 1 dan a , $j \in (1,2,...,a)$, a adalah jumlah variabel, $m \in (1,2,...,h)$.

3. Dinamika Operasi Ekonomis

Perspektif kemampuan TA dalam menyelesaikan permasalahan optimasi dikaji melalui problem yang dinyatakan dalam formulasi matematis sebagai pernyataan *economic operation* menggunakan pendekatan *dynamic economic dispatch* (DED), dengan melibatkan batasan teknis dan lingkungan. Batasan-batasan tersebut digunakan dalam proses pencarian solusi, agar semua proses komputasi berada pada daerah yang diijinkan bagi setiap solusi. Dengan mempertimbangkan dinamika operasi selama 24 jam, penyelesaiannya diharapkan masih berada pada rentang batas yang diijinkan Shayeghi (2012), Afandi (2015). Dewasa ini, persoalan DED menjadi salah satu hal yang sangat penting pada operasi *real time*, sehingga solusi optimal juga menjadi hal yang sangat krusial untuk ditentukan segera sesuai dengan kriteria yang ditetapkan Afandi (2015), Hemamalini (2011), Devendra (2012), Han (2001), Liang (1999).

Selama periode operasi, DED dinyatakan sebagai fungsi ekonomis (6) yang tergantung pada perubahan dinamis beban. Untuk mencapai titik optimal, pada studi ini problem dibatasi kondisi operasional seperti (7-15): keseimbangan daya *users* dan *producers*; aliran daya; rugi daya; tegangan; kapasitas daya kirim; *ramps*; dan emisi polusi. Dengan demikian, fungsi matematis persoalan tersebut dinyatakan berikut:

$$\sum_{t=1}^T FC_{total}^t = \sum_{t=1}^T \sum_{i=1}^{ng} (c_i + b_i \cdot P_i^t + a_i (P_i^t)^2), \quad (4)$$

$$\sum_{t=1}^T EM_{total}^t = \sum_{t=1}^T \sum_{i=1}^{ng} (\gamma_i + \beta_i \cdot P_i^t + \alpha_i (P_i^t)^2), \quad (5)$$

$$\sum_{t=1}^T \Phi_{total}^t = w \cdot (\sum_{t=1}^T FC_{total}^t) + (1 - w) \cdot (\sum_{t=1}^T h^t \cdot EM_{total}^t), \quad (6)$$

$$\sum_{i=1}^{ng} P_i^t = PD_i^t + PL_i^t, \quad (7)$$

$$PG_p^t = PD_p^t + V_p^t \cdot \left[\sum_{q=1}^{Bus} V_q^t \left(G_{pq} \cdot \cos(\theta_{pq}^t) + B_{pq} \cdot \sin(\theta_{pq}^t) \right) \right], \quad (8)$$

$$Q_{G_p}^t = Q_{D_p}^t + V_p^t \cdot \left[\sum_{q=1}^{n_{Bus}} V_q^t \left(G_{pq} \cdot \sin(\theta_{pq}^t) - B_{pq} \cdot \cos(\theta_{pq}^t) \right) \right], \quad (9)$$

$$P_i^{\min} \leq P_i^t \leq P_i^{\max}, \quad (10)$$

$$Q_i^{\min} \leq Q_i^t \leq Q_i^{\max}, \quad (11)$$

$$V_p^{\min} \leq V_p^t \leq V_p^{\max}, \quad (12)$$

$$S_{pq}^t \leq S_{pq}^{\max}, \quad (13)$$

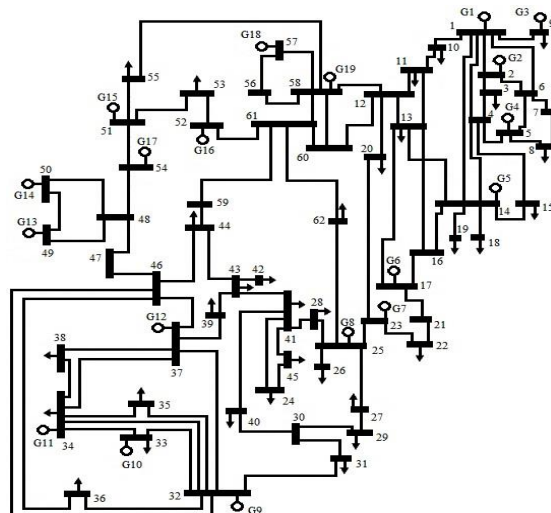
$$P_i^t - P_i^{(t-1)} \leq UR_i, \quad (14)$$

$$P_i^{(t-1)} - P_i^t \leq DR_i, \quad (15)$$

dimana t adalah waktu operasi ($t=1, 2, 3, \dots, T$), T adalah total periode operasi, FC_{total}^t adalah biaya bahan bakar (\$/hr) pada waktu t^{th} , P_i^t adalah daya pembangkit pada waktu t (MW), ng adalah jumlah pembangkit, a_i, b_i, c_i adalah koefisien bahan bakar untuk pembangkit i^{th} , EM_{total}^t adalah total emisi polusi pembangkit pada waktu t^{th} (kg/hr), $\alpha_i, \beta_i, \gamma_i$ adalah koefisien emisi pembangkit i^{th} , Φ_{total}^t adalah DED (\$/hr) pada waktu t^{th} , h^t adalah factor penalti pada waktu t^{th} , w adalah faktor kopromi, PD^t adalah total beban pada waktu t , PL^t adalah total rugi daya pada waktu t , PG_p^t dan QG_p^t adalah injeksi daya pada bus p pada waktu t , PD_p^t dan QD_p^t adalah total beban pada bus p pada waktu t , V_p^t dan V_q^t adalah tegangan pada bus p dan q ada saat t , $P_i^{\min}, P_i^{\max}; Q_i^{\max}$ dan Q_i^{\min} adalah batas daya operasi, Q_i^t adalah daya reaktif operasi pada waktu t (Mvar), V_p^{\max} dan V_p^{\min} adalah batas tegangan pada bus p , S_{pq}^t adalah daya kirim antara bus p dan q pada waktu t (Mvar), S_{pq}^{\max} adalah batas kiriman daya melalui bus p dan q , UD_i dan DR_i adalah batas ramps.

4. Model Sistem dan Prosedur

Untuk mengevaluasi hasil implementasi TA, pada studi ini digunakan sistem standar yang berupa model *IEEE-62 bus system*, sebagaimana ditunjukkan pada Gambar 1. Sistem ini disusun oleh 62 buses; 89 saluran; dan 32 titik beban, seperti yang didetailkan dalam referensi Afandi et all (2014), Afandi (2015). Riset tersebut juga memuat informasi-informasi teknis terkait dengan koneksi sistem pembangkitan dan saluran. Pada bagian ini, operasi 24 jam dibatasi oleh kriteria operasional yang mencakup 10% total rugi daya; 0,5 untuk weighting factor; dan standar emisi sebesar 0.85 kg/h.MW. Selain itu juga dibatasi oleh perubahan tegangan sebesar $\pm 5\%$; 95% kapasitas pengiriman daya; batas atas/bawah daya produksi, dan perubahan ramps; serta dynamic penalty factor. Sedangkan perubahan beban selama 24 jam yang harus dilayani diberikan dalam Tabel 1. Tabel 2 memuat batas perubahan produksi daya yang diijinkan bagi setiap pembangkit selama penyediaan energi berlangsung.



Gambar 1. Model interkoneksi IEEE-62 bus system

TABEL 1. Beban tiap jam

Jam	MW	MVar	Jam	MW	MVar
01	1.701,7	741,3	13	2.691,6	1.173,1
02	1.828,1	796,8	14	2.221,2	968,1
03	2.165,0	943,5	15	2.391,1	1.041,8
04	2.221,2	968,1	16	2.426,2	1.055,8
05	2.466,2	1.074,8	17	2.466,2	1.074,8
06	2.221,2	968,1	18	2.542,0	1.107,8
07	2.316,0	1.009,5	19	2.691,6	1.173,1
08	2.391,1	1.041,8	20	2.771,6	1.208,2
09	2.476,0	1.079,0	21	2.601,7	1.133,8
10	2.836,9	1.236,3	22	2.263,3	986,3
11	2.912,0	1.269,3	23	1.926,4	839,6
12	2.766,7	1.206,1	24	1.525,5	805,2

TABEL 2. Batas produksi daya

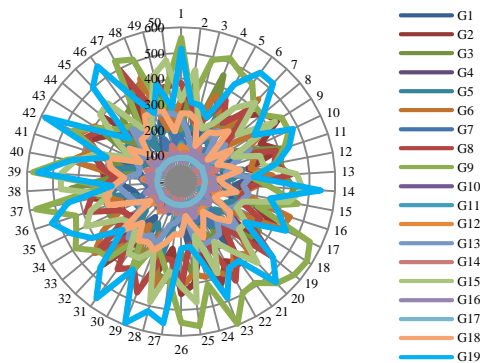
Gen	Q_{min} (MVar)	Q_{max} (MVar)	DR_i (MW)	UR_i (MW)	P_{min} (MW)	P_{max} (MW)
G1	0	450	65	102	50	300
G2	0	500	65	153	50	450
G3	-50	500	65	153	50	450
G4	0	150	25	34	0	100
G5	-50	300	65	102	50	300
G6	-50	500	65	153	50	450
G7	-50	250	65	68	50	200
G8	-100	600	65	170	50	500
G9	-100	550	75	204	0	600
G10	0	150	25	34	0	100
G11	-50	200	65	51	50	150
G12	0	75	25	17	0	50
G13	-50	300	65	102	50	300
G14	-50	200	75	51	0	150
G15	-50	550	75	170	0	500
G16	-50	200	65	51	50	150
G17	0	150	25	34	0	100
G18	-50	400	65	102	50	300
G19	-100	600	130	204	100	600

Pada simulasi ini, TA diuji menggunakan parameter utama untuk menunjukkan performasinya dalam proses komputasi. Parameter-parameter tersebut sebagaimana yang ada dalam pseudo-

codes, yaitu direpresentasikan melalui integrasi dalam main program; evaluate program; cloud charge program; streamer program; avalanche program; dan dead track program. Program-program tersebut disinergikan untuk menjalankan semua tahapan komputasi. Dengan demikian, proses komputasi TA dapat dieksekusi dengan menggabungkan program-program yang telah dibuat menggunakan 1 avalan; 50 muatan awan; 100 aliran; dan faktor badai 4.

5. Hasil dan Pembahasan

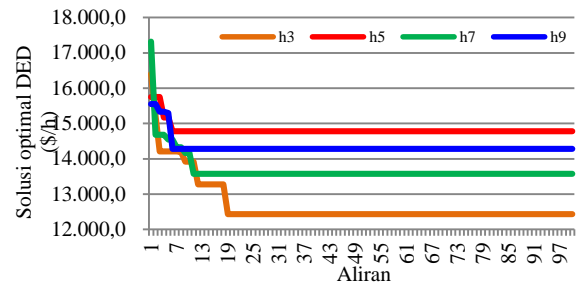
Sebagaimana tujuan untuk mengetahui perspektif kemampuan TA dalam menyelesaikan DED, maka pembahasan pada bagian ini memberikan penjelasan tentang performansi komputasi dalam pencarian solusi optimal bagi persoalan DED selama 24 jam. Berdasarkan hasil eksekusi program selama 24 jam, operasi dengan siklus 100 aliran didapatkan seperti pada tabel dan gambar berikut ini. Masing-masing tabel dan gambar tersebut menginformasikan performansi proses komputasi TA dalam mencari solusi optimal. Sebaran populasi muatan awan yang mempertimbangkan kondisi batas perubahan setiap beban diberikan dalam Gambar 2, untuk 19 variabel kombinasi. Sedangkan karakteristik kecepatan komputasi dalam mencari solusi optimal disajikan dalam Gambar 3, yang dicuplik pada jam ke-3, ke-5, ke-7, dan ke-9. Sedangkan pencapaian iterasi tiap jam diberikan pada Gambar 4, yang menunjukkan proses tercepat dalam mencari titik solusi optimal. Berdasarkan performansi tersebut, TA memiliki kemampuan komputasi yang halus dan stabil, serta cepat dan singkat.



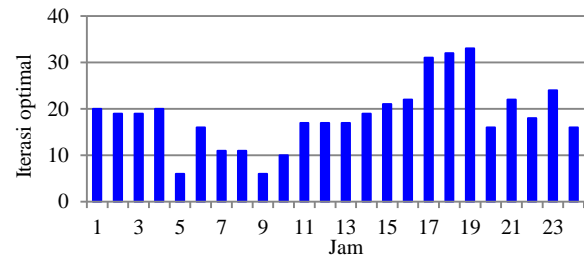
Gambar 2. Sebaran populasi muatan awan

Sebagai bagian dalam penyelesaian persoalan DED, kondisi optimal yang dicapai pada proses optimasi menggunakan TA ditunjukkan seperti pada Gambar 5 dan Gambar 6. Gambar tersebut memberi informasi pencapaian kondisi optimal DED untuk produksi daya total selama 24 jam bagi 19 pembangkit sebagaimana disajikan pada Gambar 6. Selain itu, perubahan produksi daya secara individu selama 24 jam juga diberikan pada Gambar 5.

Secara total, selama beroperasi 24 jam, kondisi penyediaan daya diberikan dalam Tabel 3 yang mencakup pemenuhan kebutuhan beban sebagaimana dalam Tabel 1. Tabel ini juga memberikan penjelasan konsumsi daya yang diserap sistem sebagai bentuk rugi daya atau loss yang masih pada batas diijinkan, yaitu terbesar berada pada kisaran 9,4%. Dengan demikian, kondisi serapan daya selama proses melayani beban masih berada pada rentang yang diharapkan.



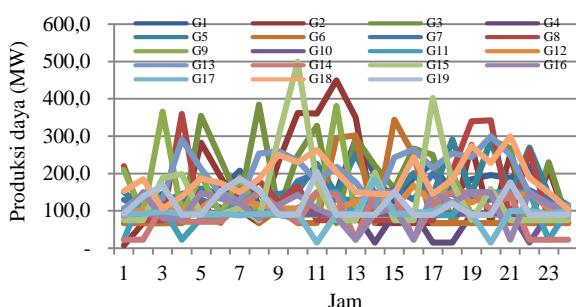
Gambar 3. Karakteristik kecepatan komputasi



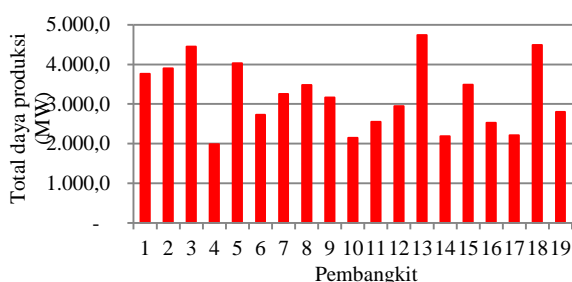
Gambar 4. Iterasi mencapai titik optimal tiap jam

TABEL 3. Daya optimal untuk 24 jam

Jam	Load (MW)	Gen (MW)	Loss (MW)	Loss (%)
01	1.701,7	1.878,9	177,2	9,4
02	1.828,1	1.934,9	106,8	5,5
03	2.165,0	2.313,5	148,5	6,4
04	2.221,2	2.320,0	98,8	4,3
05	2.466,2	2.684,0	217,8	8,1
06	2.221,2	2.441,1	219,9	9,0
07	2.316,0	2.460,5	144,5	5,9
08	2.391,1	2.599,5	208,4	8,0
09	2.476,0	2.604,6	128,6	4,9
10	2.836,9	3.100,7	263,8	8,5
11	2.912,0	3.069,5	157,5	5,1
12	2.766,7	3.037,7	271,0	8,9
13	2.691,6	2.816,3	124,7	4,4
14	2.221,2	2.373,8	152,6	6,4
15	2.391,1	2.519,6	128,5	5,1
16	2.426,2	2.536,7	110,5	4,4
17	2.466,2	2.654,3	188,1	7,1
18	2.542,0	2.662,7	120,7	4,5
19	2.691,6	2.909,8	218,2	7,5
20	2.771,6	2.997,2	225,6	7,5
21	2.601,7	2.779,7	178,0	6,4
22	2.263,3	2.377,9	114,6	4,8
23	1.926,4	2.070,4	144,0	7,0
24	1.525,5	1.682,8	157,3	9,3



Gambar 5. Perubahan produksi daya tiap jam



Gambar 6. Produksi daya individu selama 24 jam

TABEL 4. Produksi emisi untuk 24 jam

Jam	Emisi (kg/jam)	Lepasan Emisi (kg/jam)	Jam	Emisi (kg/jam)	Lepasan Emisi (kg/jam)
01	2.888,7	1.950,2	13	10.190,4	8.297,7
02	1.396,8	470,1	14	3.609,2	2.007,3
03	6.228,7	5.000,9	15	5.573,3	3.984,2
04	6.136,6	4.784,6	16	5.812,9	4.143,3
05	7.824,2	5.992,2	17	8.162,2	6.331,7
06	4.252,6	2.655,9	18	5.536,6	3.662,5
07	4.022,1	2.402,3	19	8.136,1	6.070,8
08	6.872,7	5.238,9	20	9.473,0	7.283,7
09	6.054,1	4.346,6	21	6.820,2	4.889,7
10	14.830,4	12.668,7	22	4.279,5	2.654,7
11	10.449,2	8.154,3	23	3.048,5	1.870,3
12	14.089,4	12.027,6	24	531,0	4,5

Secara keseluruhan, selain pemenuhan kebutuhan daya, operasi ini juga memproduksi polusi yang dilepaskan ke udara. Dalam kurun 24 jam beroperasi, emisi yang diproduksi juga bervariasi sesuai dengan daya yang diproduksi, seperti yang disajikan dalam Tabel 4. Tabel 4 ini memberikan informasi kondisi produksi emisi dari 19 penyedia energi, serta memberikan informasi jumlah total polusi yang boleh diemisikan ke udara, sebagaimana batas emisi yang diijinkan.

Secara spesifik, kondisi produksi daya dan emisi ini akan berdampak secara finansial kepada penggunaan anggaran operasi. Dari sisi ekonomis tersebut, Tabel 5 menyajikan hasil optimasi secara ekonomis yang ditargetkan pada penggunaan konsumsi bahan bakar dan kompensasi emisi yang dilepaskan ke udara. Secara detail, setiap jam membutuhkan biaya operasi yang berbeda dalam

memproduksi energi, sebagai upaya untuk mengoperasikan unit-unit yang terlibat dalam sistem interkoneksi. Selama kurun beroperasi, biaya-biaya tersebut digunakan untuk pengadaan bahan bakar dan kompensasi atas penalti polusi lingkungan yang melebihi batas.

TABEL 5. Biaya operasi perjam selama 24 jam

Jam	Bahan Bakar (\$/jam)	Kompensasi Polusi (\$/jam)	Total Biaya (\$/jam)
01	9.290,6	1.384,6	10.675,3
02	8.120,3	333,8	8.454,1
03	11.915,8	3.550,6	15.466,4
04	11.427,3	3.397,1	14.824,4
05	12.725,2	4.254,4	16.979,6
06	11.170,8	1.885,7	13.056,6
07	11.690,2	1.705,6	13.395,8
08	11.914,9	3.719,6	15.634,5
09	11.803,0	3.086,1	14.889,1
10	16.005,9	8.994,8	25.000,7
11	15.081,4	5.789,6	20.871,0
12	15.856,1	8.539,6	24.395,7
13	14.832,5	5.891,3	20.723,9
14	10.695,6	1.425,2	12.120,8
15	11.447,1	2.828,8	14.275,9
16	11.805,7	2.941,7	14.747,4
17	13.416,1	4.495,5	17.911,6
18	12.833,4	2.600,4	15.433,8
19	13.639,6	4.310,2	17.949,8
20	14.916,6	5.171,4	20.088,1
21	12.788,3	3.471,7	16.259,9
22	11.672,4	1.884,9	13.557,3
23	9.604,0	1.327,9	10.931,9
24	7.217,8	3,2	7.220,9
Total	291.870,7	82.993,8	374.864,5

6. Penutup

Berdasarkan rentang operasi 24 jam, pembangkit memproduksi daya yang bervariasi, termasuk memproduksi emisi yang beragam jumlahnya, disini finansial juga membutuhkan pembiayaan operasi yang berbeda. TA memiliki performansi yang halus, cepat, dan singkat dalam proses komputasinya. Dari hasil ini, hal terpenting yang dapat dilakukan untuk riset mendatang adalah aplikasi pada sistem/model riil yang lebih besar, serta komparasi dengan metode lainnya.

Daftar Pustaka:

Ioannis (2003) Ioannis G. Damausis, Anastasios G. Bakirtzis, Petros S. Dokopoulos. (2003): *Network Constrained Economic Dispatch using Real Coded Genetic Algorithm*, IEEE Trans. Power Systems, Vol. 18, No. 1, pp. 198-205.

Yong (2006) Yong Fu, Mohammad Shahidehpour, Zuyi Li (2006): *AC Contingency Dispatch Based on Security Constrained Unit Commitment*, IEEE Transactions on Power Systems.

Zeljko (2007) Zeljko Bogdan, Mislav Cehil, Damir Kopjar (2007): *Power System Optimization*, Energy.

- Yunzhi (2009) Yunzhi Cheng, Weiping Xiao, Wei-Jen Lee and Ming Yang (2009): *A New Approach for Emissions and Security Constrained Economic Dispatch*, Proc. NAPS IEEE Conference.
- Afandi (2014) A.N. Afandi (2014): *Optimal Scheduling Power Generations using HSABC Algorithm Considered a New Penalty Factor Approach*, IEEE Conference on Power Engineering and Renewable Energy.
- Bishnu (2013) Bishnu Sahu, Avipsa Lall, Soumya Das, T. Manoj Patra (2013): *Economic Load Dispatch in Power System Using Genetic Algorithm*, International Journal of Computer Applications, Vol. 67, No. 7, pp. 17-22.
- Bommirani (2013) Bommirani B., Thenmalar K. (2013): *Optimization Technique for the Economic Dispatch in Power System Operation*, International Journal of Computer and Information Technology.
- Farhat (2009) I.A. Farhat, M.E. El-Hawary (2009): *Optimization Methods Applied for Solving the Short-term Hydrothermal Coordination Problem*, Electric Power System Research.
- Mukesh (2012) Mukesh Garg, Surender Kumar (2012): *A Survey on Environmental Economic Load Dispatch using Lagrange Multiplier Method*, International Journal of Electronics & Communication Technology, Vol. 3, Issue. 1, pp. 43-46.
- El-Keib (1994) A.A. El-Keib, H.Ma, and J.L. Hart (1994): *Environmentally Constrained ED using the Lagrangian Relaxation Method*, IEEE Trans. Power Systems, Vol. 9, Issue. 4, pp. 1723-1729.
- Ahmed (1995) Ahmed Farag, Samir Al-Baiyat, T.C. Cheng (1995): *Economic Load Dispatch Multiobjective Optimization Procedures using Linear Programming Techniques*, IEEE Trans. Power Systems, Vol. 10, Issue 2, pp. 731-738.
- Subramanian (2010) S. Subramanian, and S. Ganesa (2010): *A Simplified Approach for ED with Piecewise Quadratic Cost Functions*, International Journal of Computer and Electrical Engineering, Vol. 2, No. 5, pp. 793-798.
- Gopalakrishnan (2011) R. Gopalakrishnan, A.Krishnan (2011): *A Novel Combined Economic and Emission Dispatch Problem Solving Technique using Non-dominated Ranked Genetic Algorithm*, European Journal of Scientific Research, Vol. 64, No. 1, pp. 141-151.
- Afandi et all (2014) A.N. Afandi, Hajime Miyauchi (2014): *Improved Artificial Bee Colony Algorithm Considering Harvest Season for Computing Economic Disatch on Power System*, IEEJ Transactions on Electrical and Electronic Engineering, Vol. 9, No. 3, pp. 251-257.
- Gaing (2003) Z.-L. Gaing (2003): *Particle Swarm Optimization to Solving the ED Considering the Generator Constraints*, IEEE Trans. Power Systems, Vol. 18, No. 3, pp. 1187-1195.
- Christoper (2012) C. Christoper Columbus, Sishaj P. Simon (2012): *A Parallel ABC for Security Constrained Economic Dispatch using Shared Memory Model*, Proc. EPSCICON, IEEE Conference Publication, pp. 1-6.
- Ho (2005) S.L. Ho, Shiyu Yang, H.C. Wong, K.W.E. Cheng, Guangzheng Ni (2005): *An Improved Ant Colony Optimization Algorithm and Its Application to Electromagnetic Devices Designs*, IEEE Transactions on Magnetics, Vol. 41, No. 5, pp. 1764-1767.
- Afandi (2016) A.N. Afandi (2016): *Thunderstorm Algorithm*, <http://ppij-kumamoto.org>, akses 30 maret 2016.
- A.N. Afandi (2016) A.N. Afandi (2016): *Application of Thunderstorm Algorithm for Defining the Committed Power Output Considered Cloud Charges*, International Journal of Advanced Engineering, Management and Science, Vol. 2, Issue 5, pp. 239-300.
- A.N (2016) A.N. Afandi (2016): *Thunderstorm Algorithm for Assessing Thermal Power Plants of the Integrated Power System Operation with an Environmental Requirement*, International Journal of Engineering and Technology, Vol. 8, No. 2, pp. 1102-1111.
- Shayeghi (2012) H. Shayeghi, A. Ghasemi (2012): *Application of MOFSO for Economic Load Dispatch Solution with Transmission Losses*, IJTPE Journal.
- Afandi (2015) A.N. Afandi (2015): *Optimal Solution of the EPED Problem Considering Space Areas of HSABC on the Power System Operation*, International Journal of Engineering and Technology.
- Hemamalini (2011) S. Hemamalini, Sishaj P. Simon (2011): *Dynamic Economic Dispatch using Artificial Bee Colony Algorithm for units with Valve-point effect*, Euro. Trans. Electr. Power, Vol. 21, No. 1, pp. 70-81.
- Devendra (2012) Devendra Bisen, Hari Mohan Dubey (2012): *Dynamic Economic Load Dispatch with Emission and Loss using GAMS*, IJERT, Vol. 1, No. 3, pp. 1-7.
- Han (2001) X.S. Han, H.B. Gooi, D.S. Kirschen (2001): *Dynamic Economic Dispatch: Feasible and Optimal Solutions*, IEEE Trans. Power Syst., Vol. 16, No. 1, pp. 22-28.
- Liang (1999) R.H. Liang (1999): *A Neural Based Redispatch Approach to Dynamic Generation Allocation*, IEEE Trans. Power Systems, Vol. 14, No. 4, pp. 1388-1393.