

HSABC ALGORITHM PADA OPTIMASI PRODUKSI DAYA PEMBANGKIT BERBASIS RANDOM POPULATION DAN MIGRASI RANDOM WALK

A.N. Afandi¹, Farrel Candra W.A.²

¹ Departemen Teknik Elektro dan Informatika, Universitas Negeri Malang

² Smart Power and Advanced Energy Systems (SPAES) Research Center

E-mail: an.afandi@um.ac.id

ABSTRACT

Economical operation of the electric power system is very important to ensure that the supply and production of electric power is guaranteed with the right combination of energy producers. This article aims to determine optimal conditions in the electric power production process through the economic dispatch optimization function with the inclusion of emission effects and operational technical conditions. Optimization is one of the important issues in generating power production which is quite complicated to determine conventionally, because the Harvest Season Artificial Bee Colony (HSABC) Algorithm is used as a tool in solving optimization problems formulated in the Combined Economic and Emission Dispatch (CEED) statement. CEED is currently an important topic of discussion in power system operations, in line with the high value added to global emissions issues. Furthermore, the system used is the IEEE-30 bus system model adopted as a test system to determine the best solution to the CEED problem by considering all existing constraints, monitoring the computing characteristics of the HSABC Algorithm. To carry out the computation, the HSABC Algorithm program was designed using a random population which was implemented with a compromised factor in the CEED case, as well as a random walk for shifting patterns for the optimal cost calculation solution at different values in the random population. From the simulation results it can be understood that load demand has an impact on costs, pollutant emissions and power production from the generator. Also, HSABC performance is represented by random movement to achieve the optimal solution with good speed.

Keywords: Cost, Harvest, Economy, Emissions, Minimum.

ABSTRAK

Operasi ekonomis sistem tenaga listrik sangat penting dilakukan untuk menjaga agar penyediaan dan produksi daya listrik terjamin dengan kombinasi *energy producer* yang tepat. Artikel ini bertujuan menentukan kondisi optimal pada proses produksi daya listrik melalui fungsi optimasi *economic dispatch* dengan inklusi efek emisi dan kondisi teknis operasional. Optimasi menjadi salah satu isu penting dalam produksi daya pembangkit yang cukup rumit untuk ditetapkan secara konvensional, oleh karena *Harvest Season Artificial Bee Colony* (HSABC) *Algorithm* digunakan sebagai *tool* dalam menyelesaikan persoalan optimasi yang dirumuskan dalam pernyataan *Combined Economic and Emission Dispatch* (CEED). CEED saat ini menjadi salah satu bahasan penting dalam operasi sistem tenaga, sejalan dengan tingginya *value add* terhadap persoalan emis global. Selanjutnya, sistem yang digunakan adalah model *IEEE-30 bus system* diadopsi sebagai sistem uji untuk menentukan solusi terbaik pada masalah CEED dengan mempertimbangkan semua *constraints* yang ada, memantau karakteristik komputasi pada *HSABC Algorithm*. Untuk melakukan komputasi, maka program *HSABC Algorithm* dirancang dengan menggunakan *random population* yang diimplementasikan dengan *compromised factor* pada kasus CEED, serta dengan *random walk* untuk pola pergeseran solusi penghitungan biaya optimal pada nilai yang berbeda dalam *random population*. Dari hasil simulasi dapat dipahami bahwa permintaan beban berdampak pada biaya, emisi polutan, dan produksi daya yang dihasilkan dari pembangkit. Serta, performansi HSABC direpresentasikan oleh pergerakan secara acak pada pencapaian solusi optimal dengan kecepatan yang baik.

Kata kunci: Biaya, Harvest, Ekonomi, Emisi, Minimum.

1. PENDAHULUAN

Sistem tenaga listrik dibangun dengan menggunakan struktur yang saling berhubungan untuk menyalurkan energi listrik dari lokasi pembangkit ke beberapa area beban dengan pembagian daya total untuk memenuhi kebutuhan pada periode waktu operasi. Salah satu tujuan dari strategi ini adalah untuk mengurangi total biaya operasional teknis melalui kombinasi berbagai jenis

pembangkit listrik yang dapat dinyatakan dengan menggunakan *Economic Load Dispatch* (ELD) dengan target utama memperoleh komposisi produksi daya dari setiap pembangkit yang masuk ke sistem. Secara umum, tujuan utama ELD adalah menjadwalkan komitmen unit pembangkit untuk memenuhi permintaan beban di bawah beberapa batasan operasional, yang mencakup batas daya minimal dan maksimal, perubahan tegangan, *power*

loss, batas emisi polusi yang diijinkan, dan lainnya [1], [2], [3].

Selain itu, dengan batasan terhadap perlindungan lingkungan dan mengurangi emisi atmosfer, maka ELD mempertimbangkan emisi ke udara dari pembakaran di pembangkit listrik selama proses produksi daya berlangsung [4], dimana hal ini dimasukkan dalam kajian *Emission Dispatch* (EmD), yang digunakan untuk memodifikasi strategi operasi pembangkit listrik termal dengan pola reduksi pada jumlah emisi yang dilepaskan ke udara sebagai akibat proses pembakaran, serta sekaligus mengurangi berbagai jenis polutan yang dihasilkan [5], [6]. Oleh karena itu, ELD dan EmD diubah menjadi fungsi bersama yang dinyatakan dalam *Combined Economic and Emission Dispatch* (CEED) yang dapat diselesaikan dengan berbagai cara [7], [8], [5], [9], [10], [11].

Aplikasi pemrograman matematika dan teknik optimasi dapat digunakan untuk menyelesaikan kasus tersebut [12], antara lain persoalan yang mencakup *economic dispatch*; *emission dispatch*; optimasi biaya produksi; optimasi rugi daya; atau penempatan kompensasi daya, yang dapat dikategorikan dalam pendekatan tradisional dan evolusioner [7], [13], [14], [15], [16], [17], [5], [18], [19], [20], [21]. Namun pendekatan secara transional mengalami berbagai kendala dan kelemahan untuk diimplementasikan pada sistem yang besar dan untuk rumusan masalah yang kompleks atau tidak dalam bentuk fungsi sederhana. Oleh karena itu pada kajian ini, metode evolusioner digunakan karena keunggulannya dalam proses perhitungan dengan ruang multidimensi dan mengurangi waktu komputasi [22], [23], [24], serta mampu menangani masalah kompleks, dan efektivitas untuk masalah optimal dengan multi parameter [25], [26], [4], [6]. Sehingga, *Harvest Season Artificial Bee Colony* (HSABC) *Algorithm* digunakan sebagai suatu *tool* yang berbasis *Multiple Food Sources* (MFS) untuk menyelesaikan rumusan masalah yang ada [27], dengan kasus CEED dalam batasan operasional menggunakan model IEEE-30 bus system.

2. METODE

ELD dapat dirumuskan menggunakan persamaan nonlinier dengan melibatkan semua parameter yang ada [28], dimana ELD dinyatakan dalam fungsi total biaya penyediaan daya dengan emisi polutan sebagai batasan [8], [14], [9]. Selanjutnya, untuk memadukan target bagi ELD dan EmD, maka *penalty factor* dan *weighting factor* digunakan dalam perumusannya, sebagaimana hal itu akan diselesaikan menggunakan HSABC *Algorithm* selama proses penentuan kondisi optimal dalam produksi daya pembangkit. Secara khusus, rugi daya juga dimasukkan dalam batasan operasional dengan mengacu pada setiap daya unit pembangkit pada rentang maksimal dan minimalnya [28], [29].

Selain itu, algoritma HSABC diterapkan pada kajian ini dengan memanfaatkan *Food Sources*, [25], dimana MFS merepresentasi sebaran *Multi Flower* yang terdiri dari *First Food Sources* (FFS) dan *Other Food Sources* (OFS), dimana posisi OFS diarahkan oleh *Harvest Operator* (ho) dari FFS sebagai penunjuk atas *random position* yang tersebar pada *harvest season area*. Selanjutnya, proses HSABC *Algorithm* dapat diuraikan secara umum bahwa MFS terdiri dari FFS dan OFS, FFS diikuti OFS, setiap *Food Source* terletak pada posisi yang berbeda, semua *Food Source* berada pada area musim panen. Selanjutnya secara model komputasi dan CEED diberikan berikut ini.

$$x_{ij} = x_{\min j} + \text{rand}(0,1) * (x_{\max j} - x_{\min j}), \quad (1)$$

$$v_{ij} = x_{ij} + \phi_{ij} \cdot (x_{ij} - x_{kj}), \quad (2)$$

$$H_{i\text{ho}} = \begin{cases} x_{kj} + \phi_{ij}(x_{kj} - x_{fj}) \cdot (\text{ho} - 1), & \text{for } R_j < MR \\ x_{kj}, & \text{otherwise} \end{cases}, \quad (3)$$

$$\text{fit}_i = \begin{cases} \frac{1}{1+F_i}, & \text{for } F_i \geq 0 \\ 1 + \text{abs}(F_i), & \text{if } F_i \leq 0 \end{cases}, \quad (4)$$

$$p_i = \frac{\text{fit}_i}{\sum_{i=1}^{\text{SN}} \text{fit}_i}, \quad (5)$$

Dimana x_{ij} adalah a *current food*, i adalah the i^{th} *solution of the food source*, $j \in \{1,2,3,\dots,D\}$, D adalah the *number of variables of the problem*, $x_{\min j}$ adalah the *minimum limit of x_{ij}* , $x_{\max j}$ adalah the *maximum limit of x_{ij}* , v_{ij} adalah a *food position*, x_{kj} adalah a *random neighbor of x_{ij}* , $k \in \{1,2,3,\dots,\text{SN}\}$, SN adalah the *number of solutions*, ϕ_{ij} adalah a *random number within [-1,1]*, $H_{i\text{ho}}$ adalah a *harvest season food position*, $\text{ho} \in \{2,3,\dots,\text{FT}\}$, FT adalah the *total number of flowers for the harvest season*, x_{fj} adalah a *random harvest neighbor of x_{kj}* , $f \in \{1,2,3,\dots,\text{SN}\}$, R_j adalah a *randomly chosen real number within [0,1]*, MR adalah a *modified rate of probability food*, F_i adalah a *objective function of the i^{th} solution of the food*, fit_i adalah a *fitness value of the i^{th} solution* dan p_i adalah the *probability of the i^{th} quality of food*.

$$\text{ELD minimize } F_{tc} = \sum_{i=1}^{\text{ng}} (c_i + b_i \cdot P_i + a_i \cdot P_i^2) \quad (6)$$

$$\text{EmD minimize } E_t = \sum_{i=1}^{\text{ng}} (\gamma_i + \beta_i \cdot P_i + \alpha_i \cdot P_i^2) \quad (7)$$

$$h_i = \frac{F_i(P_i^{\max})/P_i^{\max}}{E_j(P_j^{\max})/P_j^{\max}}, \quad (8)$$

$$\text{CEED minimize } \Phi = w \cdot F_{tc} + (1 - w) \cdot h \cdot E_t, \quad (9)$$

$$\sum_{i=1}^{\text{ng}} P_i = P_D + P_L, \quad (10)$$

$$P_{Gp} = P_{Dp} + V_p \sum_{q=1}^{\text{nBus}} V_q (G_{pq} \cdot \cos\theta_{pq} + B_{pq} \cdot \sin\theta_{pq}), \quad (11)$$

$$Q_{Gp} = Q_{Dp} + V_p \sum_{q=1}^{\text{nBus}} V_q (G_{pq} \cdot \sin\theta_{pq} - B_{pq} \cdot \cos\theta_{pq}), \quad (12)$$

$$P_L = \sum_{p=1}^{ng} \sum_{q=1}^{ng} P_p \cdot B_{pq} \cdot P_q + \sum_{p=1}^{ng} B_{0p} \cdot P_p + B_{00} \quad (13)$$

$$P_i^{\min} \leq P_i \leq P_i^{\max} \quad (14)$$

$$Q_i^{\min} \leq Q_i \leq Q_i^{\max} \quad (15)$$

$$V_p^{\min} \leq V_p \leq V_p^{\max} \quad (16)$$

$$S_{pq} \leq S_{pq}^{\max} \quad (17)$$

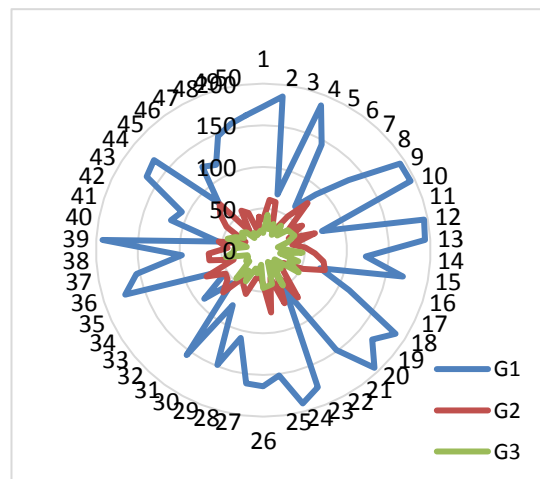
Dimana P_i adalah *power outputs of i^{th} generating unit* (MW), a_i , b_i , c_i adalah *fuel cost coefficients of i^{th} generating unit*, F_{tc} adalah *the total fuel cost* (\$/hr), α_i , β_i , γ_i adalah *emission coefficients of i^{th} generating unit*, E_i adalah *a total emission of generating units* (kg/hr), h_i adalah *each penalty factor of i^{th} generating units*, h adalah *penalty factor from ascending order of h_i* , P_i^{\min} adalah *a minimum power output of i^{th} generating unit*, P_i^{\max} adalah *a maximum output power of i^{th} generating unit*, Φ adalah *the CEED* (\$/hr), w adalah *a compromised factor*, ng adalah *a number of generators*, P_D adalah *a total load*, P_L adalah *a total power loss*, P_p and P_q adalah *power injections at bus p and q*, P_{Gp} and Q_{Gp} adalah *power injections of load flow at bus p*, P_{Dp} dan Q_{Dp} adalah *load demands of load flow at bus p*, V_p dan V_q adalah *voltages at bus p dan q*, Q_i^{\max} dan Q_i^{\min} adalah *maximum and minimum reactive powers of i^{th} generating unit*, V_p^{\max} dan V_p^{\min} adalah *maximum and minimum voltages at bus p*, S_{pq} adalah *the power transfer between bus p dan q*, S_{pq}^{\max} adalah *a limit of power transfer between bus p dan q*.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

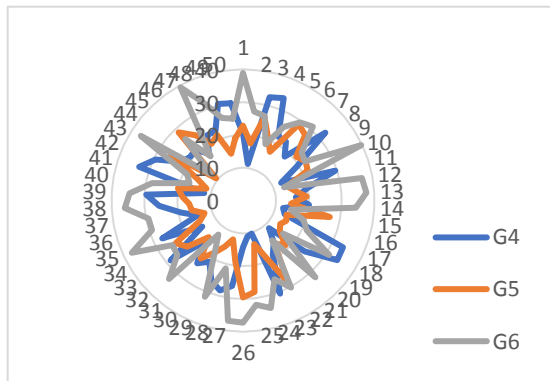
Pada bagian ini, kajian diarahkan pada penyelesaian problem CEED menggunakan algoritma HSABC untuk mendapatkan solusi terbaik dan menentukan kombinasi komitmen daya bagi unit pembangkit berbasis model IEEE-30 bus system yang disusun oleh 6 generator (G1, G2, G3, G4, G5, G6), dimana ELD dan EmD menjadi satu kesatuan dalam proses perhitungan sebagai fungsi utama sasaran teknis dengan target menentukan produksi daya pembangkit dengan biaya yang paling optimal. Selain itu, kajian juga didasarkan pada batas operasional sistem yang mencakup beban 283.4 MW dengan batas perubahan tegangan 10% melalui keseimbangan produksi daya pada batas pembangkitan yang ditentukan untuk setiap tahapan iterasi untuk penentuan produksi daya pembangkit. Sedangkan HSABC Algorithm dieksekusi dengan parameternya yang menyangkut *colony size* = 100, *number of foods* = 50, *limit number of foods* = 50, *total foraging cycles* = 100, dan 3 *flowers*. Dengan kriteria tersebut, maka Gambar 1 dan Gambar 2 menunjukkan sebaran secara keseluruhan dari *Random Population* yang mencakup semua potensi dari populasi dengan kombinasi dari 6 unit pembangkit yang ada di IEEE-30 bus system yang

digunakan sebagai model dalam kajian ini. Dari Gambar 1 terlihat bahwa sebaran dari 50 pasang populasi bergerak secara *random* dalam rentang *generating unit* 1-3, hal ini juga berbeda dengan Gambar 2 dimana *random path* pada *generating unit* 3-6 memiliki karakteristik yang berbeda. Keragaman terlihat jelas pada unit pembangkit G1 dan unit pembangkit G6, dimana lainnya memiliki *random path* yang kecil dalam setiap kombinasi satuan populasi yang tersedia. Hal ini menunjukkan bahwa kedua pembangkit tersebut memiliki potensi lebih besar untuk dioperasikan sepanjang masa produksi daya listrik.

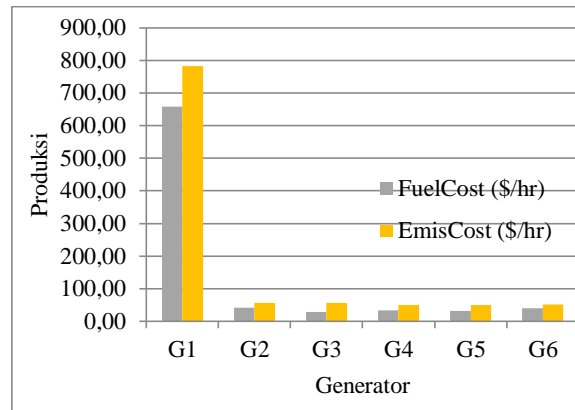
Solusi akhir dari komitmen pembangkitan daya dari unit yang berkombinasi secara optimal dapat dilihat pada Tabel 1, dengan sebaran potensi daya terbangkitkan masing-masing unit. Pada table tersebut dapat diketahui, setiap komposisi daya terbangkitkan secara optimal dengan produksi emisi yang dilepas selama pembangkit bekerja. Selain itu, daya masing-masing *generating unit* 1-6 tersebut terakumulasi menghasilkan produksi daya sebesar 297,01 MW dengan efek emisi yang dilepaskan sekitar 583,75 kg/hr. Kondisi ini juga berimplikasi pada biaya produksi dan kompensasi yang harus dikeluarkan selama komitmen layanan beban dengan produksi daya yang cukup, yaitu dengan biaya produksi sebesar 834,89 \$/hr, selain itu juga menanggung kompensasi atas pelepasan polusi yang dihasilkan sekitar 1.064,08 \$/hr. Hal ini juga relevan dengan efek masing-masing unit yang ada, sebagaimana dalam Gambar 3. Secara individu, Gambar 3 memberikan informasi terkait dengan biaya produksi untuk memproduksi daya secara optimal, sekaligus memberikan biaya kompensasi atas pelepasan emisi ke lingkungan. Secara parsial, pembangkit 1 membutuhkan biaya yang paling besar, sedangkan unit pembangkit lainnya relative murah dari aspek biaya produksi daya listrik.



Gambar 1. *Random population* untuk energy production 1-3



Gambar 2. Random population untuk energy production 4-6

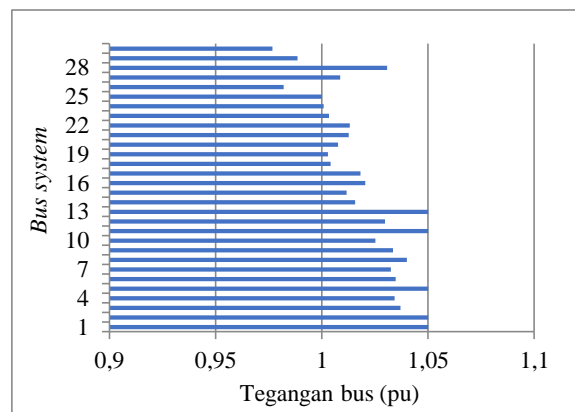


Gambar 3. Akumulasi biaya produksi dan kompensasi emisi

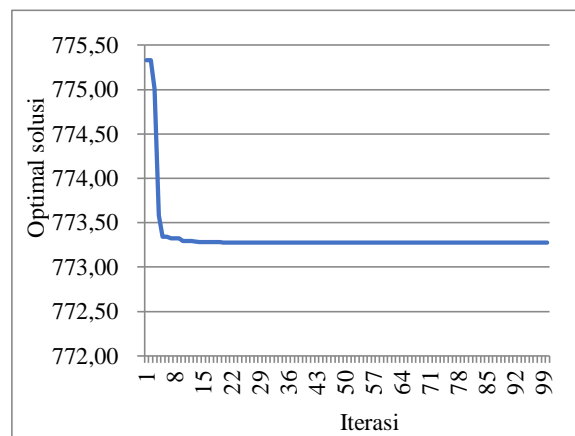
Table 1. Komitmen optimal

Gen	Power (MW)	Emission (kg/MW)
G1	230,01	436,55
G2	20,00	31,31
G3	15,00	31,43
G4	10,00	27,76
G5	10,00	27,56
G6	12,00	29,14
Total	297,01	583,75

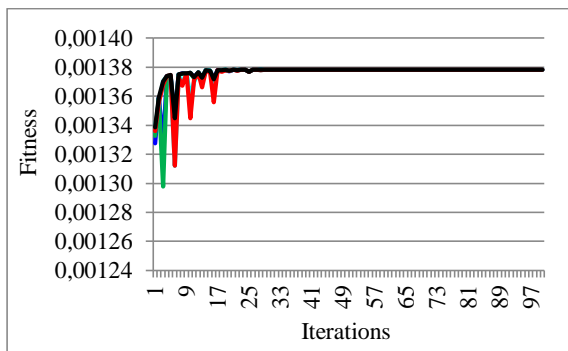
Secara praktis, sistem mengalami penetrasi yang signifikan dengan kondisi operasi optimal pada unit komitmen melalui *economic dispatch* dalam produksi daya listrik tersebut, dengan sebaran tegangan disajikan dalam Gambar 4. Kondisi optimal dalam memproduksi daya listrik ini merupakan proses layanan daya listrik ke beban dengan menggunakan model system yang ada, dimana kondisi tegangan ini merepresentasi keadaan sistem yang dimodelkan dengan IEEE-30 bus. Mayoritas bus system mengalami kenaikan tegangan, sedangkan lainnya pada level tegangan dibawah referensi. Namun demikian, dengan mengacu pada batas perubahan tegangan yang diterapkan, keduanya masih dalam batas toleransi 10% yang digunakan untuk penurunan ataupun kenaikan tegangan. Hal ini menunjukkan bahwa system tenaga listrik tersebut masih beroperasi dengan normal pada kondisi kombinasi produksi daya pembangkit yang ditunjukkan dalam Tabel 1.



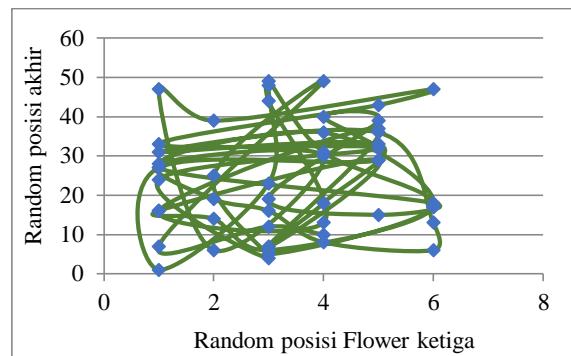
Gambar 4. Tegangan di system IEEE-30 bus system



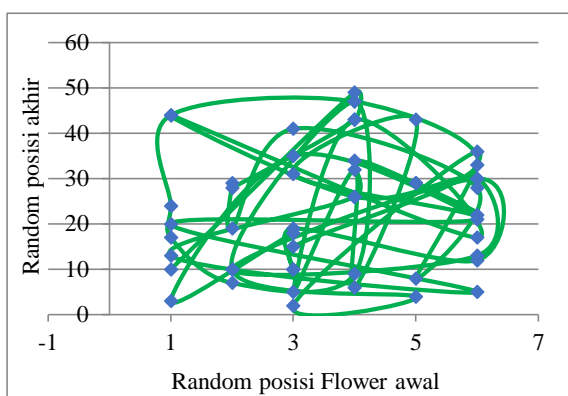
Gambar 5. Kecepatan komputasi HSABC



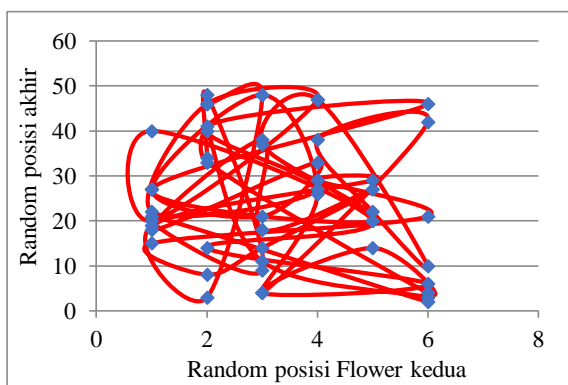
Gambar 6. Laju fitness HSABC



Gambar 9. Perpindahan Flower 3



Gambar 7. Perpindahan Flower 1



Gambar 8. Perpindahan Flower 2

Hal lain secara komputasi selama proses penentuan produksi daya adalah menyangkut performansi pencapaian titik optimal, secara umum performansi dari HSABC *Algorithm* memiliki kecepatan komputasi yang baik sebagaimana disajikan dalam Gambar 5, dengan dukungan laju fitness yang ditunjukkan dalam Gambar 6. Gambar 5 ini menunjukkan kecepatan proses pencarian solusi optimal pada setiap tahapan iterasi untuk kasus CEED yang digunakan sebagai representasi dari *economic dispatch*. Sehingga dengan semua parameter HSABC *Algorithm* yang digunakan menunjukkan kecepatan iterasi dari metode ini sangat halus dan cepat mencapai titik optimal, serta memiliki *ritme fitness* yang baik dan cepat pula seperti pada Gambar 6. Selanjutnya Gambar 7, Gambar 8, dan Gambar 9 menunjukkan pergerakan dari proses pencapaian solusi optimal pada Algoritma HSABC dengan berbagai kecepatan komputasi yang berbeda dari setiap posisi pencapaian solusi yang ada. *Random walk* ini mencerminkan perubahan setiap paket solusi atas CEED yang direpresentasi sebagai *Food Source* atau *Flower*, dimana pada kajian ini HSABC *Algorithm* menggunakan tiga pasang, yang artinya *multiple solution* akan selalu berdampingan dalam *random walk* setiap perpindahan iterasi dalam komputasinya. *Flower 1*, *Flower 2*, dan *Flower 3* akan melakukan migrasi secara bebas dalam populasi yang ada dengan *random path* yang terjadi dalam setiap pola iterasi, sepanjang proses pencapaian solusi optimal, sebagaimana kecepatannya disajikan dalam Gambar 5. Pada setiap perpindahan titik solusi dalam *Food Sources* memiliki karakteristik yang berbeda pada setiap pasangan kombinasi tiga *flower* dalam semua paket kombinasi dalam populasi yang digunakan. Sehingga *random path* ini akan berdampak pada kombinasi dari produksi daya listrik yang dipilih dari semua unit pembangkit yang ada, sampai didapatkan posisi titik optimal sebagai solusi setiap iterasi.

4. KESIMPULAN

Implementasi HSABC *Algorithm* untuk mencari solusi optimal bagi persoalan *economic dispatch* yang dirumuskan melalui CEED *problem*, dengan menggunakan IEEE-30 *bus system* sebagai model, memberikan hasil yang bagus dalam aspek kecepatan komputasi dan pencapaian nilai optimal produksi daya pembangkit. Selanjutnya dapat diketahui pula bahwa, *random population* akan berdampak pada proses perhitungan dalam HSABC dan pencapaian solusi optimal CEED, yang juga berdampak pada mobilitas pelacakan setiap solusi iterasi, tercermin pada *random path* setiap kombinasi solusi atau *Flower*. Dari segi *random walk* maka posisi perpindahan solusi sangat dinamis, dan berbeda setiap langkah pencapaian produksi daya optimal. Selain itu, kajian ini menunjukkan bahwa daya mempengaruhi komposisi komitmen, emisi, serta biaya. Dengan mempertimbangkan komposisi ELD dan EmD, total biaya produksi dapat diperoleh melalui rumusan optimasi CEED. Dalam kajian lanjutan, HSABC memiliki potensi dapat diterapkan pada kasus yang lebih luas dan perlu kajian dalam hal *step size random walks*.

PUSTAKA

- [1]. H. Chahkandi Nejad, IR. Jahani, IM. Mohammad Abadi, "GAPSO-based Economic Load Dispatch of Power System", Australian Journal of Basic and Applied Sciences, Vol. 5, No.7, 2011, pp. 606-611.
- [2]. M.A. Abido, "Multiobjective Evolutionary Algorithms for Electric Power Dispatch Problem", IEEE Transactions on Evolutionary Computation, Vol. 10, No. 3, 2006, pp. 315-329.
- [3]. Samir Sayah, Khaled Zehar, "Economic Load Dispatch with Security Constraints of the Algerian Power System using Successive Linear Programming Method", Leonardo Journal of Science, Issue 9, July-Dec, 2006, pp.73-86.
- [4]. Yunzhi Cheng, Weiping Xiao, Wei-Jen Lee and Ming Yang, "A New Approach for Missions and Security Constrained Economic Dispatch", Proc. NAPS, IEEE Conference Publication, Starkville USA, 4-6 Oct 2009, pp. 1-5.
- [5]. M.A. Abido, "Environmental/economic power dispatch using multiobjective evolutionary algorithm", IEEE Trans. Power Systems, Vol. 18, No. 4, 2003, pp. 1529-1537.
- [6]. Fahad S. Abu-Mouti and M.E.El-Hawary, "Optimal distributed generation allocation and sizing in distribution system via artificial bee colony algorithm", IEEE Journal & Magazines, Vol. 26, Issue. 4, 2011, pp. 2090-2101.
- [7]. A.A. El-Keib, H.Ma, and J.L. Hart, "Environmentally constrained ED using the lagrangian relaxation method", IEEE Trans. Power Systems, Vol. 9, Issue. 4, 1994, pp. 1723-1729.
- [8]. K. Sathish Kumar, V.Tamilselvan, N.Murali, R.Rajaram, N.Shanmuga Sundaram and T.Jayabarathi, "Economic load dispatch with emission constraints using various PSO algorithm," WSEAS Transaction on Power System, Vol. 3, Issue. 9, 2008, pp. 598-607.
- [9]. R.Gopalakrishnan, A.Krishnan, "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, 2011, pp. 141-151.
- [10]. Yong Fu, Mohammad Shahidehpour, Zuyi Li : "AC Contingency Dispatch Based on Security Constrained Unit Commitment", IEEE Transactions on Power Systems, Vol. 21, pp. 897-908 (2006)
- [11]. Yong Fu, Mohammad Shahidehpour, Zuyi Li, "Security constrained unit commitment with AC constraints", IEEE Trans. Power Systems, Vol. 20, No. 3, 2005, pp. 1538-1550.
- [12]. B.H. Chowdhury, Saifur Rahman, "A review of recent advances in economic dispatch", IEEE Trans. On Power Systems, Vol. 5, Issue. 4, 1990, pp.1248-1259.
- [13]. Ahmed Farag, Samir Al-Baiyat, T.C. Cheng, "Economic load dispatch multiobjective optimization procedures using linear programming techniques", IEEE Trans. Power Systems, Vol. 10, Issue. 2, 1995, pp. 731-738.
- [14]. Mukesh Garg, Surender Kumar, "A survey on environmental economic load dispatch using lagrange multiplier method", International Journal of Electronics & Communication Technology, Vol. 3, Issue. 1, 2012, pp.43-46.
- [15]. S. Subramanian, and S. Ganesa, "A simplified approach for ED with piecewise quadratic cost functions", International Journal of Computer and Electrical Engineering, Vol. 2, No. 5, 2010, pp. 793-798.
- [16]. Ioannis G. Damausis, Anastasios G. Bakirtzis, Petros S. Dokopoulos, "Network constrained economic dispatch using real coded genetic algorithm", IEEE Trans. Power Systems, Vol. 18, No. 1, 2003, pp. 198-205.
- [17]. M. A. Aziz, J. I. Musirin and T. K. A. Rahman, "Solving dynamic ED using evolutionary programming", Proc. First International Power and Energy Conference, Putra Jaya, 28-29 Nov 2006, pp. 144-149.
- [18]. T. Yalcinoz and M. J. Short, "Large-scale ED using an improved hopfield neural network",

- IEE Proc. Gener. Transm. Distrib, Vol. 144, Issue. 22, 1997, pp. 181-185.
- [19]. Y. Abdelaziz, S. F. Mekhamer, M. A. L. Badr, and M. Z. Kamh, "ED using an enhanced hopfield neural network", *Electric Power Components and Systems*, Vol. 36, No. 7, 2008, pp. 719-732.
- [20]. Z.-L. Gaing, "Particle swarm optimization to solving the ED considering the generator constraints", *IEEE Trans. Power Systems*, Vol. 18, No. 3, 2003, pp.1187-1195.
- [21]. Dervis Karaboga, "An Idea Based on Honey Bee Swarm for Numerical Optimization", Technical Report-TR06, Erciyes University, Turkey, 2005.
- [22]. Milos Subotic, "Artificial Bee Colony Algorithm for Constrained Optimization Problems Modified with Multiple Onlookers", *International Journal and Mathematical Models and Methods in Applied Sciences*, Vol. 6, Issue. 2, 2012, pp.314-322.
- [23]. Nadezda Stanarevic, Milan Tuba, Nebojsa Bacanin, "Modified Artificial Bee Colony Algorithm for Constrained Problems Optimization", *International Journal of Mathematical Models and Methods in Applied Science*, Vol. 5, Issue. 3, 2011, pp. 644-651.
- [24]. Efren Mezura Montes, Mauricio Damian Araoz, Omar Centina Dominges, "Smart Flight and Dynamic Tolerances in the Artificial Bee Colony for Constrained Optimization", *Proc. IEEE Congress on Evolutionary Computation CEC*, Barcelona, 18-23 July 2010, pp. 1-8.
- [25]. Karaboga D, Basturk B, "A Powerful and Efficient Algorithm for Numerical Function Optimization: ABCAlgorithm," *J. of Global Optimization*, Vol. 39, No. 0925-5001, 2007, pp. 459-471.
- [26]. C. Christopher Columbus and Sishaj P. Simon, "A parallel ABC for security constrained economic dispatch using shared memory model", *Proc. 2012 EPSCICON IEEE Conference Publication*, Thrissur Kerala, 3-6 Jan 2012, pp. 1-6.
- [27]. A.N. Afandi, Hajime Miyauchi, "Multiple Food Sources for Composing Harvest Season Artificial Bee Colony Algorithm on Economic Dispatch Problem", *Proc. The 2013 Annual Meeting of the IEEJ*, Nagoya, 20-22 March 2013, No. 6-008, pp. 11-12.
- [28]. Hadi Saadad, "Electric Power System", Mc. Graw Hill, New York, 1999.
- [29]. H. Shayeghi, A. Ghasemi, "Application of MOFSO for economic load dispatch solution with transmission losses", *IJTPE Journal*, Vol. 4, No. 1, 2012, pp.27-34.

HALAMAN INI SENGAJA DIKOSONGKAN