

Algoritma HSABC: Placement Strategies dan Various Operational Constraints untuk Solusi Optimal Operasi Ekonomis Tenaga Listrik

A.N. Afandi¹⁾, Yunis Sulistyorini²⁾

Abstrak—Artikel ini dititiberatkan pada pembahasan dua strategi penempatan *food sources* pada algoritma *harvest season artificial bee colony* (HSABC) untuk mencapai solusi optimal dengan mempertimbangkan batasan teknis dan kendala lingkungan, yaitu melalui suatu formulasi fungsi *combined economic and emission dispatch* (CEED). Dua strategi tersebut diuji pada model sistem tenaga listrik standar yang mengadopsi topologi *IEEE-30 bus*. Hal ini dilakukan untuk mendemonstrasikan unjuk kerja atau kemampuan intelijen komputasi yang dimiliki oleh algoritma HSABC. Berdasarkan hasil simulasi berbasis persoalan CEED, diketahui bahwa kedua strategi tersebut memiliki unjuk kerja yang berbeda. Selain itu keduanya juga memiliki kecepatan komputasi yang stabil dengan nilai optimal solusi yang sama, meskipun solusi tersebut dicapai dengan siklus dan perolehan yang berbeda.

Kata kunci—Algoritma HSABC, CEED, Emisi, Operasi Ekonomis, Sistem Tenaga.

I. PENDAHULUAN

SISTEM tenaga listrik secara praktis dioperasikan dengan menggunakan berbagai variasi kombinasi unit-unit pembangkit, hal ini digunakan untuk memenuhi perubahan permintaan beban pada setiap periode operasi selama 24 jam [1]–[3]. Selain itu, strategi ini juga digunakan agar dicapai operasi sistem yang paling ekonomis. Secara umum, operasi ekonomis dapat dilakukan dengan penjadwalan komitmen unit pembangkit dengan menerapkan alokasi daya keluaran yang sesuai permintaan beban untuk meminimalkan total biaya dengan mempertimbangkan semua bantasan operasional yang ditentukan. Sejak meningkatnya upaya perlindungan lingkungan dari berbagai polusi atmosfer, maka sistem tenaga listrik juga mempertimbangkan emisi polusi dari proses pembakaran bahan bakar fosil yang digunakan pada berbagai pembangkit-pembangkit termal. Selain itu, dengan disepakatinya *Clean Air Act Amendments* pada tahun 1990, semakin menjadikan operasi sistem tenaga listrik harus memodifikasi strategi operasi bagi pembangkit-pembangkit termal dengan memasukan kontribusi polusi udara. Sehingga menuntut penanganan secara optimal selama dioperasikan.

¹⁾A.N. Afandi, Teknik Elektro, Universitas Negeri Malang, Malang, Jawa Timur, Indonesia (corresponding author: an.afandi@um.ac.id, an.afandi@ieee.org).

²⁾Yunis Sulistyorini, Jurusan Matematika, IKIP Budi Utomo, Malang, Jawa Timur, Indonesia (yunis.sulistyorini@gmail.com).

Dewasa ini pendekatan intelijen komputasi sering digunakan untuk menyelesaikan masalah-masalah yang terkait dengan persoalan optimasi. Teknik ini lebih populer; cepat; dan akurat dibandingkan dengan pendekatan secara klasik yang beberapa tahun lalu populer digunakan, terutama aplikasi pada sistem yang besar dan persoalan praktis dengan batasan kondisi operasional yang sangat beragam [4]–[10]. Secara evolusioner, komputasi ini umumnya diciptakan dengan menirukan perilaku entitas di alam melalui suatu prinsip-prinsip optimasi untuk mencari solusi yang paling baik dengan berbagai kendala yang membatasinya. Selanjutnya, intelijen komputasi juga dikembangkan untuk memperbaiki unjuk kerja pada metode klasik yang selama ini dipandang kurang sesuai untuk sistem besar dan membutuhkan waktu komputasi yang lebih lama dalam proses penyelesaiannya. Secara umum pendekatan klasik mencakup beberapa metode yang berdasarkan pada aturan matematik langsung untuk mendapatkan solusi permasalahannya [11]–[14]. Saat ini, intelijen komputasi semakin mendominasi dalam aplikasinya untuk mengatasi berbagai problem yang terjadi di bidang praktis ataupun teoritis, untuk menggantikan kelemahan-kelemahan metode klasik yang telah dipromosikan sebelumnya [10], [15], [15]–[21].

Secara umum, banyak perilaku cerdas dari entitas di alam yang diadopsi untuk menciptakan intelijen komputasi atau metode evolusioner, serta sukses diaplikasikan untuk mengatasi problematika dalam bidang praktis yang berdasarkan pada teknik optimasi [8], [10], [12], [22]. Beberapa jenis intelijen komputasi yang sering digunakan antara lain adalah *ant colony*, *cuckoo search*, *neural network*, *genetic algorithm*, dan *particles swarm* [5], [20], [23], [24]. Selama dalam kurun waktu penerapannya, *genetic algorithm* menempati posisi yang paling populer untuk digunakan. Selanjutnya, pada artikel ini diperkenalkan aplikasi algoritma *harvest season artificial bee colony* (HSABC) yang dikembangkan pada tahun 2012 dan diperkenalkan terbuka secara internasional mulai tahun 2013 [12], [25]–[28]. Berdasarkan implementasinya, algoritma HSABC memiliki kelebihan dibandingkan dengan *genetic algorithm*.

Pada artikel ini, implementasi HSABC dilakukan dengan menggunakan *placement strategies* bagi *food*

source placement (FSP), yang digunakan untuk mendapatkan solusi terbaik atas permasalahan praktis, dengan batasan semua kondisi operasional yang mencerminkan dinamika operasi di lapangan. Masalah tersebut mengakomodasi *global warming*, emisi polusi, konsumsi bahan bakar fosil, dan reduksi *financial charge* bagi kontinuitas operasi yang dipertahankan dalam *budget fees*. Kompleksitas operasi dengan dinamika lingkungan tersebut dipresentasikan dalam masalah *combined economic and emission dispatch* (CEED), yang memasukan semua kendala operasional pada kondisi *real time operation* dan *environmental protection*.

II. HARVEST SEASON ARTIFICIAL BEE COLONY

Secara umum algoritma HSABC dibangun oleh tiga *agents* utama untuk menjalankan intelijen komputasi yang ada dalam hirarkinya. *Agents* ini merupakan komponen yang sangat penting dalam menjalankan fungsinya dalam proses komputasi. Pada tahapan komputasi, semua tahapan diproses dengan mengacu pada aturan yang telah ditetapkan dan sesuai dengan prosedur komputasinya [25], [27]. Masing-masing *agent* memiliki fungsi dan tugas yang berbeda dalam mencari solusi. Selain itu, algoritma HSABC juga dibangun oleh situasi *harvest season* yang disusun oleh *multiple food sources* (MFSs) yang terdiri atas *the first food source* (FFS) dan *the other food sources* (OFSs), dimana kondisi tersebut berkaitan dengan *harvest operator*.

Secara rinci, dalam algoritma HSABC, perpindahan entitas di alam didekati menggunakan *random walks* untuk menyatakan pergeseran posisi selama pergerakan [12], [25], [28]. Dalam algoritma HSABC hal ini dicerminkan oleh MFSs yang dilukiskan melalui *searching mechanism* dan *greedy process* (GP). Selain itu, konsistensi MFSs juga dicerminkan oleh kolaborasi FFS dan OFSs pada setiap kompilasinya. Setiap OFSs diarahkan posisinya menggunakan *harvest operator* terhadap kedudukan FFS. Lokasi OFSs ditentukan menggunakan dua strategi, yaitu *uncontrolled distance placement* (UDP) dan *controlled distance placement* (CDP). Strategi UDP merupakan pembangkitan posisi setiap OFSs dalam rentang jarak acak dengan FFS untuk setiap siklusnya, sedangkan strategi CDP merupakan pembangkitan posisi setiap OFSs dengan jarak yang konstan terhadap FFS pada setiap siklusnya.

Selanjutnya, tahapan komputasi HSABC diberikan dalam urutan *Generating population*, *Food source exploration*, *Food selection*, dan *Abandoned replacement* [12]. Selain memenuhi *pseudo-codes*, proses komputasi dalam algoritma HSABC juga mengikuti aturan dasar untuk *harvest season*. Aturan tersebut merepresentasikan semua kondisi *food sources* dalam area *harvest season*, sebagaimana dinyatakan dalam postulat berikut ini: MFSs disusun oleh FFS dan OFSs; FFS diikuti oleh OFSs; setiap OFSs diarahkan dengan *harvest operator*; masing-masing *food source* diletakkan pada posisi yang berbeda; semua *food sources* dipopulasikan secara acak pada area *harvest season*; area *harvest season* dibatasi oleh *critical boundary*;

ukuran koloni sesuai dengan *employer* dan *onlooker*; *employer* berubah menjadi *scout* pada kondisi *food* mati [12].

Secara matematis, proses komputasi dalam algoritma HSABC merujuk pada pseudo-codes yang telah dimiliki atau ditetapkan. Selanjutnya, algoritma HSABC dinyatakan dengan persamaan utama sebagai berikut:

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

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

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

dimana x_{ij} adalah *current food*, i adalah solusi ke- i , $j \in \{1, 2, 3, \dots, D\}$, D adalah jumlah variable problem, $x_{\min j}$ adalah batas minimum x_{ij} , $x_{\max j}$ adalah batas maximum x_{ij} , v_{ij} adalah posisi *food*, x_{kj} adalah *neighbor* acak dari x_{ij} , $k \in \{1, 2, 3, \dots, \text{SN}\}$, SN adalah jumlah solusi, \emptyset_{ij} adalah angka acak $[-1, 1]$, $H_{i\text{ho}}$ adalah posisi *harvest season food*, $\text{ho} \in \{2, 3, \dots, \text{FT}\}$, FT adalah jumlah *flowers*, x_{fj} adalah *harvest neighbor* acak dari x_{kj} , $f \in \{1, 2, 3, \dots, \text{SN}\}$, R_j adalah angka acak $[0, 1]$, MR adalah *modified rate*.

III. PROSEDUR IMPLEMENTASI

Dengan semakin ketatnya proteksi global terhadap polusi dan pembatasan konsumsi bahan bakar fosil, maka CEED banyak diperbincangkan dalam upaya operasi ekonomis [3], [12], [15], [29]–[34]. CEED menjadi masalah riil yang unik dengan kendala operasi yang rentan terhadap perubahan batas fisik operasi sistem yang ada, dan penentuan kapasitas operasi yang layak dalam rentang kondisi teknis yang diijinkan. Hal ini sangat penting untuk menekan polusi yang dihasilkan pada pembangkitan termal dengan pengendalian emisi ke udara yang berdampak pada *global warming*. Sehingga polusi menjadi bagian yang harus diperhitungkan selama beroperasinya sistem sebagai upaya untuk *environmental protections* [13], [22], [35]–[37].

Dengan mengakomodasi *emission dispatch* dan *load dispatch*, CEED disusun dengan melibatkan *penalty factor* dan *compromised factor*. Selain itu, dengan batasan teknis yang menyatu pada kondisi operasional, maka CEED dapat dinyatakan menggunakan persamaan matematis sebagaimana pernyataan berikut ini:

$$F_{tc} = \sum_{i=1}^{\text{ng}} (c_i + b_i \cdot P_i + a_i \cdot P_i^2), \quad (4)$$

$$E_t = \sum_{i=1}^{\text{ng}} (\gamma_i + \beta_i \cdot P_i + \alpha_i \cdot P_i^2), \quad (5)$$

$$\Phi = w \cdot F_{tc} + (1 - w) \cdot h \cdot E_t, \quad (6)$$

$$\sum_{i=1}^{\text{ng}} P_i = P_D + P_L, \quad (7)$$

$$P_{Gp} = P_{Dp} + V_p \sum_{q=1}^{\text{ng}} V_q (G_{pq} \cdot \cos \theta_{pq} + B_{pq} \cdot \sin \theta_{pq}), \quad (8)$$

$$Q_{Gp} = Q_{Dp} + V_p \sum_{q=1}^{\text{ng}} V_q (G_{pq} \cdot \sin \theta_{pq} - B_{pq} \cdot \cos \theta_{pq}), \quad (9)$$

$$P_L = \sum_{p=1}^{\text{ng}} \sum_{q=1}^{\text{ng}} P_p \cdot B_{pq} \cdot P_q + \sum_{p=1}^{\text{ng}} B_{0p} \cdot P_p + B_{00}, \quad (10)$$

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

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

$$V_p^{\min} \leq V_p \leq V_p^{\max}, \quad (13)$$

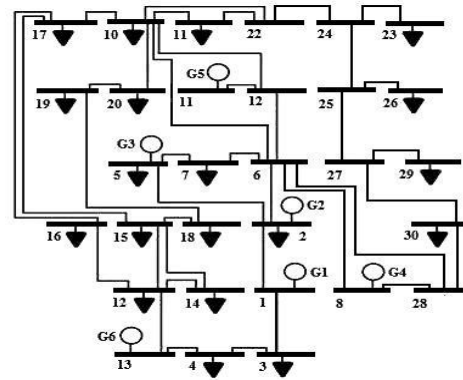
$$S_{pq} \leq S_{pq}^{\max}, \tag{14}$$

dimana P_i adalah daya keluaran (MW), a_i ; b_i ; c_i adalah koefisien biaya, F_c adalah total biaya (\$/hr), α_i ; β_i ; γ_i adalah koefisien emisi, E_t adalah total emisi (kg/hr), h adalah *penalty factor*, P_i^{\min} adalah daya minimum (MW), P_i^{\max} adalah daya maximum (MW), Φ adalah CEED (\$/hr), w adalah *compromised factor*, ng adalah jumlah generator, P_D adalah *load demand*, P_L adalah rugi daya, P_p dan P_q adalah daya injeksi, P_{Gp} dan Q_{Gp} adalah daya *load flow*, P_{Dp} dan Q_{Dp} adalah *load demand*, V_p dan V_q adalah tegangan, Q_i^{\max} dan Q_i^{\min} adalah daya reaktif, V_p^{\max} dan V_p^{\min} adalah batas tegangan, S_{pq} adalah kemampuan daya kirim, S_{pq}^{\max} adalah batas kemampuan daya kirim.

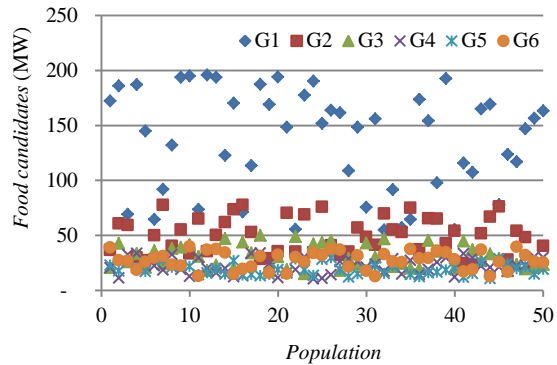
IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

Model pada kajian ini adalah model sistem tenaga yang dipilih dengan menggunakan standar sistem yang dikeluarkan oleh IEEE International dengan tipe IEEE 30-bus system. Standar model IEEE banyak digunakan pada kajian-kajian sebetulnya, dengan keragaman persoalan yang dikaji. Dengan mengacu pada struktur standar tersebut, maka kondisi interkoneksi sistem ini diberikan seperti pada Gambar 1, yang memuat letak semua beban dan pembangkit, serta koneksi setiap titik sambungan. Sistem ini juga digunakan untuk mendemonstrasikan strategi UDP dan CDP dengan parameter data teknis, sebagaimana data tersebut difasilitasi dalam *appendix IEEE 30-bus system*. Sebagaimana batasan operasional, maka kajian pada riset ini menggunakan beban sebesar 304 MW, $\pm 5\%$ untuk fluktuasi tegangan, 0,5 untuk *compromised factor*, dan 90% batas kemampuan daya kirim.

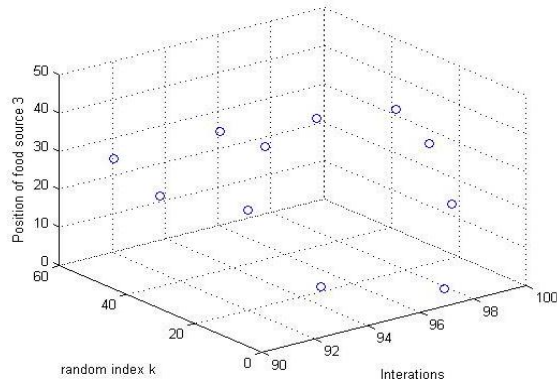
Dengan mempertimbangkan *power constraints*, maka inisial populasi dapat dibangkitkan seperti pada Gambar 2, sebagai *food candidates* untuk G1 sampai G6. Gambar ini juga menunjukkan 50 kandidat solusi yang disediakan oleh populasi dan diletakan pada posisi yang berbeda-beda dengan nilai yang berbeda pula, untuk setiap pasangan *unit commitment*. Dengan demikian setia set kombinasi merupakan pasangan coordinator pembangkit daya listrik dengan sumbangan daya sesuai yang dijadwalkan. Selain itu, dengan pencuplikan selama 5 siklus terakhir sebelum komputasi berhenti, maka Gambar 3 dan Gambar 4 menunjukkan posisi untuk setiap *food sources*, yaitu *the 3rd food source* dengan metode penempatan yang berbeda. Gambar-gambar ini menunjukkan keacakan lokasi masing *food sources* pada siklus yang berbeda. Selanjutnya kolaborasi tiga *food sources* dengan strategi UDP dan CDP diilustrasikan seperti pada Gambar 5 dan Gambar 6, untuk setiap proses iterasinya. Kedua gambar ini menunjukkan setiap keterlibatan FFS dan OFS dalam menentukan solusi.



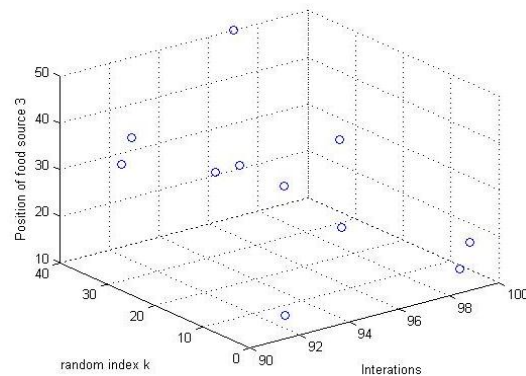
Gbr. 1. Digram interkoneksi IEEE 30-bus system



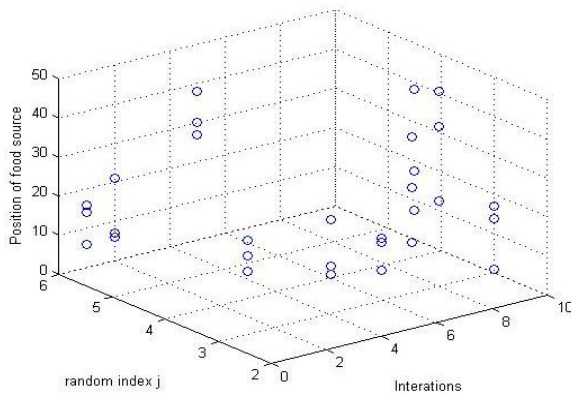
Gbr. 2. Inisial populasi kandidat solusi



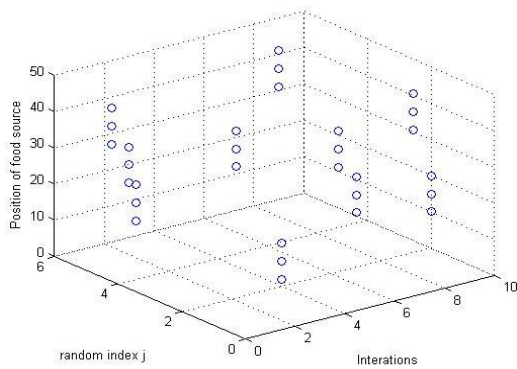
Gbr. 3. Posisi the 3rd food source dengan UDP



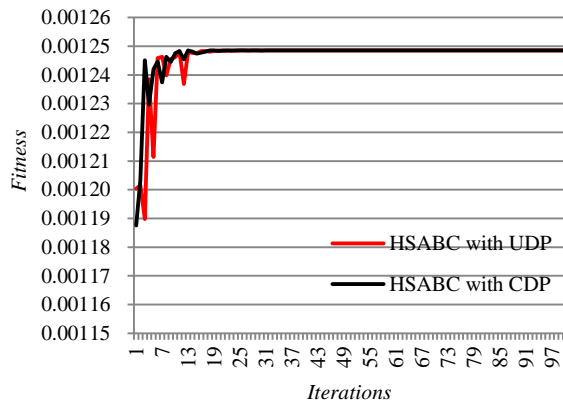
Gbr. 4. Posisi the 3rd food source dengan CDP



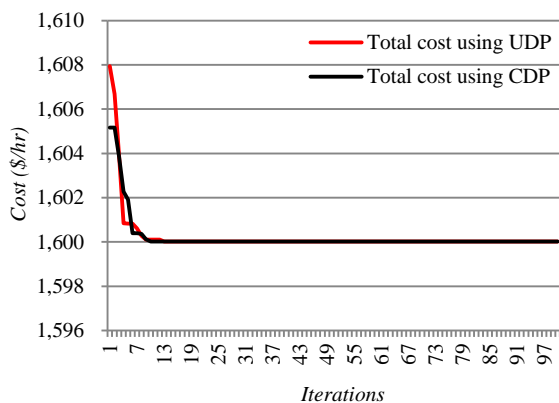
Gbr. 5. Kolaborasi food sources dengan UDP



Gbr. 6. Kolaborasi food sources dengan CDP

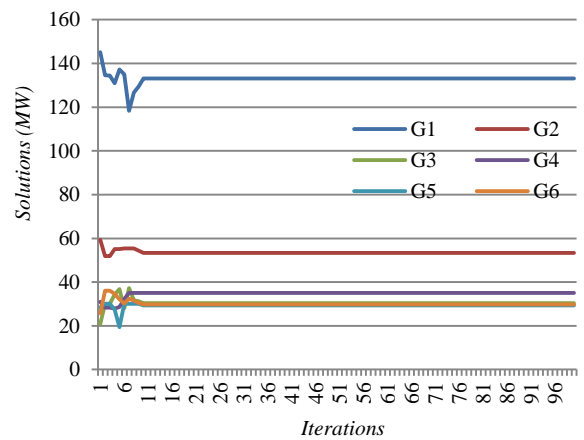


Gbr. 7. Perbandingan Greedy process



Gbr. 8. Perbandingan convergence speed

Selanjutnya, Gambar 7 dan Gambar 8 menunjukkan perbandingan kedua strategi dalam segi *greedy* dan kecepatan komputasi. Dari sisi komputasi, kedua strategi memberikan karakteristik yang cepat dan stabil dalam proses komputasinya, meskipun CDP lebih cepat dibandingkan dengan strategi UDP sekitar 13 siklus dalam mencapai optimal solusi. Gambar 7 menunjukkan proses keacakan untuk mencapai solusi yang paling optimal yang terjadi dalam kompuasi menggunakan algoritma HSABC. Proses ini didekati dengan menggunakan *fitness* atas permasalahan optimasi yang dikaji. Secara detil, unjuk kerja dalam kecepatan proses komputasi diilustrasikan dalam Gambar 8. Gambar ini menunjukkan kecepatan dalam mencapai titik optimal pada setiap tahapan iterasi, dimana setiap iterasi memberikan ritme yang berbeda selama proses berlangsung.



Gbr. 9. Pergerakan daya menggunakan CDP

TABEL I
HASIL NUMERIS EVALUASI

Units	Power (MW)	Emission (kg/hr)	Fuel cost (\$/hr)	Emission cost (\$/hr)
G1	133,1	99,7	332,6	178,7
G2	53,4	77,1	143,5	138,2
G3	30,3	49,9	87,4	89,4
G4	35,0	60,4	124,0	108,2
G5	29,3	49,4	109,3	88,6
G6	29,8	49,3	111,8	88,3
Total	310,9	385,8	908,6	691,4

Berdasarkan profil *unit commitment* pada Gambar 9, maka dapat diketahui bahwa komputasi individu pada *generating unit* untuk memberikan sumbangsih ke sistem mengalami perbedaan pada awal proses komputasi, sebelum mencapai titik yang optimal. Selanjutnya, secara ekonomis, biaya minimum untuk menjamin beroperasinya sistem dengan kondisi batasan teknis dan lingkungan membutuhkan *financial budget* sebesar 1.600 \$/hr. Alokasi ini digunakan untuk biaya bahan bakar sebesar 908,6 \$/hr dan 691,4 \$/hr untuk biaya kompensasi polusi lingkungan.

Dengan memperhitungan strategi CDP, komputasi ini

dimulai pada 1.605,2 \$/hr sebagai kondisi awal. Sedangkan komputasi menggunakan strategi UDP diawali pada posisi 1.607,9 \$/hr untuk inisial *financial total fee*. Pergerakan daya pada sistem diilustrasikan seperti pada Gambar 9 dengan representasi untuk strategi CDP. Hasil akhir pada proses komputasi menggunakan algoritma HSABC ditunjukkan dalam Tabel I. Berdasarkan hasil ini, G3 dioperasikan pada batas maximum dan pembangkit lainnya dikondisikan pada *over middle powers*. Daya terbesar dibangkitkan oleh G1 dengan total daya keluaran sekitar 133,1 MW, sedangkan G5 memproduksi daya paling sedikit.

V. KESIMPULAN

Sebagaimana tujuan dalam paper ini, penerapan HSABC dapat dilakukan dengan dua strategi UDP dan CDP. Selain itu, kedua strategi tersebut menghasilkan unjuk kerja yang berbeda, dan strategi CDP memberikan hasil yang lebih baik, meskipun keduanya memiliki kecepatan yang stabil. Secara numeris kedua strategi menghasilkan nilai yang sama, dengan pergerakan karakteristik yang berbeda. Untuk riset lanjutan, fokus pada space limit sangat dianjurkan.

VI. REFERENSI

- [1] J. Geeganage, U. D. Annakkage, T. Weekes, and B. A. Archer, "Application of Energy-Based Power System Features for Dynamic Security Assessment," *IEEE Transactions on Power Systems*, vol. 30, no. 4, pp. 1957–1965, Jul. 2015.
- [2] A. Rabiee, B. Mohammadi-Ivatloo, and M. Moradi-Dalvand, "Fast Dynamic Economic Power Dispatch Problems Solution Via Optimality Condition Decomposition," *IEEE Transactions on Power Systems*, vol. 29, no. 2, pp. 982–983, Mar. 2014.
- [3] A. N. Afandi, I. Fadlika, and Y. Sulistyorini, "Solution of dynamic economic dispatch considered dynamic penalty factor," in *2016 3rd Conference on Power Engineering and Renewable Energy (ICPERE)*, 2016, pp. 241–246.
- [4] A. E. Fatmi, A. Chentoufi, M. A. Bekri, S. Benhlime, and M. Sabbane, "A heuristic algorithm for RNA secondary structure based on genetic algorithm," in *2017 Intelligent Systems and Computer Vision (ISCV)*, 2017, pp. 1–7.
- [5] L. Lei and W. Shaoqiang, "An Improved Ant Colony Optimization Algorithm Using Local Pheromone and Global Pheromone Updating Rule," in *2016 International Conference on Intelligent Transportation, Big Data Smart City (ICITBS)*, 2016, pp. 63–67.
- [6] N. D. Thokare, R. R. Bhausaheb, and S. D. Jawale, "Review of design of lighting system for energy saving using wireless sensor network," in *2017 1st International Conference on Intelligent Systems and Information Management (ICISIM)*, 2017, pp. 336–340.
- [7] A. N. Afandi, Y. Sulistyorini, G. Fujita, N. P. Khai, and N. Tutkun, "Renewable energy inclusion on economic power optimization using thunderstorm algorithm," in *2017 4th International Conference on Electrical Engineering, Computer Science and Informatics (EECSI)*, 2017, pp. 1–6.
- [8] A. E. Aguilar-Justo, E. Mezura-Montes, and C. A. C. Coello, "Memetic Modified Artificial Bee Colony for constrained optimization," in *2014 IEEE International Autumn Meeting on Power, Electronics and Computing (ROPEC)*, 2014, pp. 1–6.
- [9] W. Bai, I. Eke, and K. Y. Lee, "An improved artificial bee colony optimization algorithm based on orthogonal learning for optimal power flow problem," *Control Engineering Practice*, vol. 61, no. Supplement C, pp. 163–172, Apr. 2017.
- [10] E. Cuevas, M. González, D. Zaldivar, M. Pérez-Cisneros, and G. García, "An Algorithm for Global Optimization Inspired by Collective Animal Behavior," *Discrete Dynamics in Nature and Society*, 2012. [Online]. Available: <https://www.hindawi.com/journals/ddns/2012/638275/>. [Accessed: 12-Mar-2018].
- [11] J.-J. Deng and H.-D. Chiang, "Convergence Region of Newton Iterative Power Flow Method: Numerical Studies," *Journal of Applied Mathematics*, 2013. [Online]. Available: <https://www.hindawi.com/journals/jam/2013/509496/>. [Accessed: 17-Mar-2018].
- [12] A. N. Afandi and H. Miyauchi, "Improved artificial bee colony algorithm considering harvest season for computing economic dispatch on power system," *IEEJ Trans Elec Electron Eng*, vol. 9, no. 3, pp. 251–257, May 2014.
- [13] T. Sabo, "A Survey on Environmental Economic Load Dispatch using Lagrange Multiplier Method," 2012.
- [14] Z. L. Wu, J. Y. Ding, Q. H. Wu, Z. X. Jing, and X. X. Zhou, "Two-phase mixed integer programming for non-convex economic dispatch problem with spinning reserve constraints," *Electric Power Systems Research*, vol. 140, no. Supplement C, pp. 653–662, Nov. 2016.
- [15] M. A. Abido, "Multiobjective evolutionary algorithms for electric power dispatch problem," *IEEE Transactions on Evolutionary Computation*, vol. 10, no. 3, pp. 315–329, Jun. 2006.
- [16] G. W. Greenwood, "Adapting mutations in genetic algorithms using gene flow principles," in *The 2003 Congress on Evolutionary Computation, 2003. CEC '03*, 2003, vol. 2, pp. 1392–1397 Vol.2.
- [17] E. Mezura-Montes, M. Damián-Araoz, and O. Cetina-Domingez, "Smart flight and dynamic tolerances in the artificial bee colony for constrained optimization," in *IEEE Congress on Evolutionary Computation*, 2010, pp. 1–8.
- [18] B. Y. Qu, Y. S. Zhu, Y. C. Jiao, M. Y. Wu, P. N. Suganthan, and J. J. Liang, "A survey on multi-objective evolutionary algorithms for the solution of the environmental/economic dispatch problems," *Swarm and Evolutionary Computation*, Jun. 2017.
- [19] C. C. Columbus and S. P. Simon, "A parallel ABC for security constrained economic dispatch using shared memory model," in *Controls and Computation 2012 International Conference on Power, Signals*, 2012, pp. 1–6.
- [20] C. A. Murthy, "Genetic Algorithms: Basic principles and applications," in *2012 2nd National Conference on Computational Intelligence and Signal Processing (CISP)*, 2012, pp. 22–22.
- [21] S. Chatterjee and S. Mandal, "A novel comparison of gauss-seidel and newton-raphson methods for load flow analysis," in *2017 International Conference on Power and Embedded Drive Control (ICPEDC)*, 2017, pp. 1–7.
- [22] H. Gharavi, M. M. Ardehali, and S. Ghanbari-Tichi, "Imperial competitive algorithm optimization of fuzzy multi-objective design of a hybrid green power system with considerations for economics, reliability, and environmental emissions," *Renewable Energy*, vol. 78, pp. 427–437, Jun. 2015.
- [23] Y. Chen, L. Li, J. Xiao, Y. Yang, J. Liang, and T. Li, "Particle swarm optimizer with crossover operation," *Engineering Applications of Artificial Intelligence*, vol. 70, pp. 159–169, Apr. 2018.
- [24] D. P. Bernardon, V. J. Garcia, M. Sperandio, J. L. Russi, E. F. B. Daza, and L. Comassetto, "Automatic reestablishment of power supply in distribution systems using Smart Grid concepts," in *2010 IEEE/PES Transmission and Distribution Conference and Exposition: Latin America (T D-LA)*, 2010, pp. 44–49.
- [25] A. N. Afandi, "Optimal scheduling power generations using HSABC algorithm considered a new penalty factor approach," in *The 2nd IEEE Conference on Power Engineering and Renewable Energy (ICPERE) 2014*, 2014, pp. 13–18.
- [26] A. N. Afandi, "Optimal scheduling power generations using HSABC algorithm considered a new penalty factor approach," in *The 2nd IEEE Conference on Power Engineering and Renewable Energy (ICPERE) 2014*, 2014, pp. 13–18.
- [27] A. N. Afandi, *Optimal Solution of the EPED Problem Considering Space Areas of HSABC on the Power System Operation*, vol. 7. 2015.
- [28] A. N. Afandi, *Optimal Solution of the EPED Problem Considering Space Areas of HSABC on the Power System Operation*, vol. 7. 2015.
- [29] P. Kumkratug and M. H. Haque, "Versatile model of a unified power flow controller in a simple power system," *IEE*

- Proceedings - Generation, Transmission and Distribution*, vol. 150, no. 2, pp. 155–161, Mar. 2003.
- [30] C. N. Lu, J. H. Teng, and B. S. Chang, “Power system network topology error detection,” *IEE Proceedings - Generation, Transmission and Distribution*, vol. 141, no. 6, pp. 623–629, Nov. 1994.
- [31] J. L. M. Ramos, A. T. Lora, J. R. Santos, and A. G. Exposito, “Short-term hydro-thermal coordination based on interior point nonlinear programming and genetic algorithms,” in *2001 IEEE Porto Power Tech Proceedings (Cat. No.01EX502)*, 2001, vol. 3, pp. 6 pp. vol.3-.
- [32] T. Yalcinoz and M. J. Short, “Large-scale economic dispatch using an improved Hopfield neural network,” *Transmission and Distribution IEE Proceedings - Generation*, vol. 144, no. 2, pp. 181–185, Mar. 1997.
- [33] A. N. Afandi, “Solving Combined Economic and Emission Dispatch Using Harvest Season Artificial Bee Colony Algorithm Considering Food Source Placements and Modified Rates,” *International journal on electrical engineering and informatics*, vol. Vol. 6, p. 267, Jul. 2014.
- [34] A. N. Afandi, I. Fadlika, and A. Andoko, “Comparing Performances of Evolutionary Algorithms on the Emission Dispatch and Economic Dispatch Problem,” *TELKOMNIKA (Telecommunication Computing Electronics and Control)*, vol. 13, no. 4, pp. 1187–1193, Dec. 2015.
- [35] A. N. Afandi, “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, pp. 1102–1111, Apr. 2016.
- [36] S. Fadil and B. Urazel, “A security constrained environmental/economic power dispatch technique using F-MSG algorithm for a power system area including limited energy supply thermal units,” *International Journal of Electrical Power & Energy Systems*, vol. 56, no. Supplement C, pp. 185–197, Mar. 2014.
- [37] M. Pandit, L. Srivastava, and M. Sharma, “Environmental economic dispatch in multi-area power system employing improved differential evolution with fuzzy selection,” *Applied Soft Computing*, vol. 28, pp. 498–510, Mar. 2015.