

Implementasi Metode Lalat Buah dalam Penjadwalan Ekonomis Pembangkit pada Sistem Tenaga Listrik

Haripuddin¹, Muhammad Riska², Akhyar Muchtar³

Universitas Negeri Makassar

Email: haripuddin@unm.ac.id

Abstrak. Penyaluran energi listrik ke pusat-pusat beban membutuhkan biaya operasional pembangkitan energi listrik. Biaya pembangkitan energi listrik dari pembangkit tenaga listrik termal mahal karena menggunakan bahan bakar fosil. Oleh sebab itu, dalam penyaluran energi listrik dengan menggunakan pembangkit termal perlu dilakukan penjadwalan ekonomis pembangkit. Tujuan penjadwalan ekonomis pembangkit adalah menentukan luaran daya optimal dari unit-unit pembangkit untuk memenuhi kebutuhan permintaan beban dengan memenuhi beberapa batasan operasi untuk satu periode penyaluran daya dengan biaya operasi pembangkitan tenaga listrik yang dihasilkan paling minimum. Penelitian ini adalah penelitian kuantitatif yang bersifat deskriptif untuk mengeksplorasi kondisi pada objek penelitian. Data diolah dengan teknik dokumentasi berdasarkan data sistem standar IEEE 14 bus dan IEEE 62 bus. Metode optimasi yang digunakan untuk menyelesaikan masalah penjadwalan ekonomis pembangkit (ED) pada sistem pembangkit tenaga termal adalah menggunakan metode optimasi lalat buah (FOA) yang kemudian dibandingkan nilainya dengan metode optimasi Lagrange. Hasil simulasi menunjukkan bahwa metode optimasi FOA mampu menyelesaikan dan menentukan solusi terbaik dari penjadwalan ekonomis pembangkit sistem tenaga listrik yang menghasilkan nilai yang lebih kecil dari metode optimasi Lagrange sebagai metode pembanding dan waktu komputasi yang dibutuhkan cukup cepat untuk menemukan nilai terbaiknya.

Kata Kunci: Penjadwalan Ekonomis Pembangkit, Sistem IEEE 14 Bus, Sistem IEEE 62 Bus, Metode Lalat Buah (Metode FOA), Metode Lagrange

PENDAHULUAN

Energi terkait erat dengan pencemaran lingkungan, pengembangan ekonomi dan kualitas hidup. Ketergantungan akan bahan bakar fosil tak terbarukan yang jumlahnya semakin hari semakin berkurang, saat ini menjadi penyebab utama terjadinya polusi dan perubahan iklim. Energi listrik secara historis terpusat dalam hal pembangkit yang berasal dari sumber energi konvensional yang tergantung pada batu bara dan minyak bumi dengan biaya operasional yang tinggi, dan didistribusikan dalam satu arah jaringan listrik.

Tujuan penjadwalan ekonomis pembangkit pada sistem tenaga listrik yang terinterkoneksi adalah mencari penjadwalan daya aktif dan reaktif dari masing-masing pembangkit tenaga listrik dengan biaya operasi yang minimum (Saadat, 1999). Tujuan penjadwalan ekonomis pembangkit adalah untuk menentukan luaran daya optimal dari unit-unit pembangkit untuk memenuhi kebutuhan permintaan beban dengan

memenuhi beberapa batasan operasi untuk satu periode penyaluran daya dan ini juga dikenal dengan penjadwalan ekonomi klasik (CED) di mana batasan keamanan saluran diabaikan (Jizhong, 2013). Tujuan utama dari penggunaan tenaga listrik adalah untuk memberikan suplai daya yang handal dan berkualitas tinggi kepelanggan pada biaya yang paling minimum sementara pengoperasiannya untuk memenuhi batas-batas dan batasan-batasan yang mungkin pada unit-unit pembangkit dan pertimbangan lingkungan (M.Manjusha, 2016). Penjadwalan ekonomis pembangkit (ED) adalah penentuan luaran optimal dari beberapa pembangkit listrik untuk memenuhi permintaan beban dengan biaya terendah. Menurut (Mei & Zhao, 2018), masalah ED adalah bagaimana mengatur luaran dari unit generator untuk memenuhi permintaan listrik dengan biaya bahan bakar yang rendah dan memenuhi batasan sistem.

Sejumlah metode optimasi yang telah digunakan terkait dengan masalah penjadwalan ekonomis (ED) oleh beberapa peneliti sebelumnya, seperti genetic algorithm dengan satu variabel objektif (Li et al., 2017), modified adaptive multiobjektif differential evolution (MAMODE) algorithm dengan dua variabel objektif (Jiang, Zhou, Wang, & Zhang, 2013), evolutionary programming techniques algorithm dengan satu variabel objektif (Sinha, Chakrabarti, & Chattopadhyay, 2003), particle swarm optimization algorithm dengan satu variabel objektif (Saravanan, Subramanian, Dharmalingam, & Ganesan, 2017), enhanced quantum-behaved PSO dengan satu variabel objektif (Mei & Zhao, 2018), chaotic particle swarm optimization algorithm dengan satu variabel objektif (Jiejing, Xiaoqian, Lixiang, & Haipeng, 2007), particle swarm intelligence algorithm dengan satu variabel objektif (Gaurav Kumar Gupta, 2017), backtracking search algorithm dengan satu variabel objektif (Tyagi, Dubey, & Pandit, 2016), improved bacterial foraging algorithm dengan satu variabel objektif (Zakaria, Rahman, & Hassan, 2014), artificial bee colony algorithm dengan satu fungsi objektif (Nurlita Gamayanti, Abdullah Alkaff, 2015), fuzzified artificial bee colony dengan tiga variabel objektif (Koodalsamy & Simon, 2013), improved local search involving bee colony optimization using lamda iteration combined with a golden section search method dengan satu variabel objektif (Aurasopon & Khamsen, 2019), firefly algorithm dengan satu variabel objektif (Nema & Gajbhiye, 2014), firefly algorithm dengan dua variabel objektif (Apostolopoulos & Vlachos, 2011), enhanced moth-flame optimization algorithm dengan dua variabel objektif (Elsakaan, El-sehiemy, Kaddah, & Elsaid, 2018), fuzzy cardinal method dengan dua variabel objektif (Singh, Brar, & D. P.Kothari, 2019), quadratic programming method dengan dua variabel objektif (Nwulu, 2018), gravitational search algorithm dengan dua variabel objektif (Sadoudi, Boudour, & Kouba, 2019), parallel and distributed computation algorithm dengan satu variabel objektif (G. Chen, Li, & Dong, 2017), fruit fly optimization algorithm dengan dua variabel objektif (Zheng, Wang, & Wang, 2014), improved fruit fly optimization algorithm dengan satu variabel objektif (Liang, Zhang, Wang, & Jia, 2019), FFO algorithm dengan satu variabel objektif (Geruna et al., 2017), advanced fruit fly optimization algorithm dengan satu variabel objektif (Guang, Xiaolong, & Mengzhou, 2018), MO-FOA algorithm dengan dua variabel objektif (El-

Ela, El-Sehiemy, Rizk-Allah, & Fatah, 2018), differential evolution method dengan dua variabel objektif (Basu, 2011), evolutionary algorithm dengan satu variabel objektif (Devi & Krishna, 2008), efficient meta heuristic algorithm dengan satu variabel objektif (Subramanian, Thanushkodi, & Prakash, 2013), harmony search algorithm dengan dua variabel objektif (Sivasubramani & Swarup, 2011), novel method with across neighborhood search algorithm dengan satu variabel objektif (Xiong et al., 2018), simulated annealing algorithm dengan dua variabel objektif (Ziane, Benhamida, & Graa, 2017), assesment of hurricane versus sine-cosine optimization method dengan dua variabel objektif (El-Sehiemy, Rizk-Allah, & Attia, 2019), flower pollination algorithm dengan dua variabel objektif (Abdelaziz, Ali, & Abd Elazim, 2016), a chaotic krill herd algorithm dengan satu variabel objektif (Bentouati, Chettih, & El-Sehiemy, 2017), hybrid big bang-big crunch dengan satu variabel objektif (Ieng, Akil, & Gunadin, 2019), hybrid with cross-entropy method and sequential quadratic programming method dengan satu variabel objektif (Subathra, Easter Selvan, Aruldoss Albert Victoire, Hepzibah Christinal, & Amato, 2015), variable scaling hybrid differential evolution method dengan satu variabel objektif (Chiou, 2007), hybrid particle multi-swarm optimization method dengan satu variabel objektif (Nawaz et al., 2017), hybrid PSO-TLBO optimization technique method dengan dua variabel objektif (Kaushal & Thakur, 2020), new hybrid ICA-PSO approach method dengan satu variabel objektif (J. Chen & Imani Marrani, 2020), novel hybrid differential evolution algorithm dengan satu variabel objektif (Wang, Chiou, & Liu, 2007).

Pemilihan metode optimasi lalat buah dalam menyelesaikan masalah ED pada sistem tenaga termal berdasarkan karakteristik dari metode FOA dalam menyelesaikan masalah penjadwalan ekonomis pembangkit untuk mendapatkan solusi terbaiknya, yaitu (1) metode ini termasuk dalam metode komputasi dan metode kuantitatif, (2) metode ini termasuk metode heuristik dan kategori artificial intelligence, (3) metode ini termasuk dalam swarm method, (4) metode ini mempunyai waktu komputasi cukup cepat. Sedangkan, pengujian metode lalat buah dilakukan pada sistem kelistrikan IEEE 14 bus dan IEEE 62 bus. Hasil pengujian metode lalat buah dibandingkan dengan metode Lagrange.

METODE PENELITIAN

1. Jenis Penelitian

Penelitian ini merupakan penelitian kuantitatif dengan pendekatan deskriptif bersifat eksplorasi yang bertujuan untuk menggambarkan situasi dan kondisi pada objek penelitian.

2. Variabel dan Subvariabel Penelitian

Variabel yang digunakan dalam penelitian ini adalah metode lalat buah dalam penjadwalan ekonomis pembangkit pada sistem tenaga listrik. Sedangkan subvariabel yang digunakan yaitu:

1. Diagram satu garis (*Single line diagram*)
2. Kapasitas daya listrik dari sumber-sumber yang ada

3. Data bus
4. Data saluran

3. Definisi Operasional Variabel dan Subvariabel

Variabel dan subvariabel yang digunakan pada penelitian ini sebagai berikut :

- A. Metode alat buah adalah suatu metode optimasi yang termasuk dalam metode kawanan dan merupakan kategori kecerdasan buatan (artificial intelligence).
- B. Diagram satu garis (*Single line diagram*) adalah diagram sistem kelistrikan dari sumber utama (generator) sampai ke beban yang terinterkoneksi satu dengan yang lainnya.
- C. Kapasitas daya listrik adalah besarnya daya listrik yang tersedia dalam sebuah jaringan sistem kelistrikan yang digunakan.
- D. Data bus adalah data dari setiap bus yang ada dalam jaringan sistem kelistrikan yang terinterkoneksi
- E. Data saluran adalah data impedansi dan admitansi dari satu bus ke bus lain yang ada dalam jaringan sistem kelistrikan yang terinterkoneksi.

3. Teknik Pengumpulan Data

Teknik pengumpulan data yang dilakukan dalam penelitian ini adalah teknik dokumentasi. Teknik ini dilakukan untuk memperoleh data dan informasi mengenai penelitian ini dengan melakukan pengamatan dari dokumen yang berkaitan dengan penelitian yang diteliti.

4. Teknik Analisis Data

Teknik analisis data yang digunakan dalam penelitian ini menggunakan software aplikasi Matriks Laboratory (MATLAB) R2017a sebagai alat komputasi dalam melakukan analisis optimasi penjadwalan ekonomis pembangkit pada sistem tenaga listrik.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Pengujian metode alat buah (metode FOA) dilakukan pada dua sistem kelistrikan standar yaitu sistem kelistrikan IEEE 14 bus dan sistem kelistrikan 62 bus. Sistem IEEE 14 bus adalah sistem kelistrikan yang terdiri atas 14 bus, 20 saluran transmisi, dan 3 generator dengan total beban 259,3 MW. Sistem ini merupakan sistem kelistrikan Amerika Illinois Center for a Smarter Electric Grid (ICSEG). Sedangkan, sistem kelistrikan IEEE 62 bus adalah sistem kelistrikan Indian Utility yang terdiri atas 62 bus, 89 saluran transmisi, dan 19 generator dengan total beban 2908 MW.

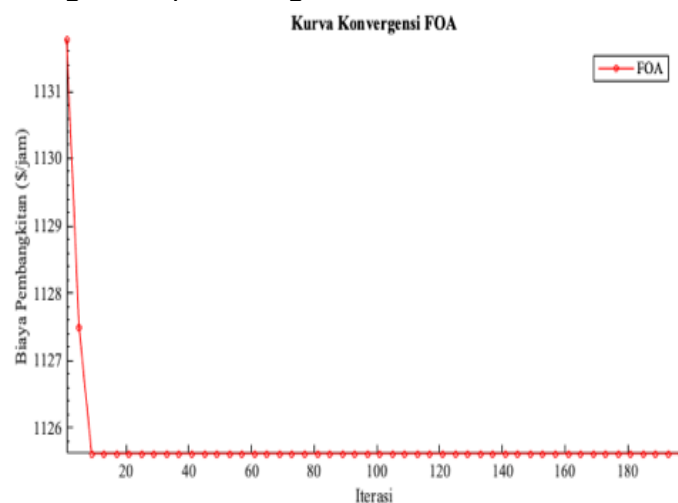
1. Sistem Kelistrikan IEEE 14 bus

Hasil pengujian sistem IEEE 14 bus menggunakan metode alat buah (metode FOA) dengan meminimumkan 3 variabel objektif diperlihatkan pada Tabel 1 dan kurva konvergensi biaya bahan bakar pembangkitannya ditunjukkan pada Gambar 1 dengan waktu komputasi yang dibutuhkan adalah 40.94 detik.

Tabel 1. Hasil pengujian sistem IEEE 14 bus menggunakan metode FOA

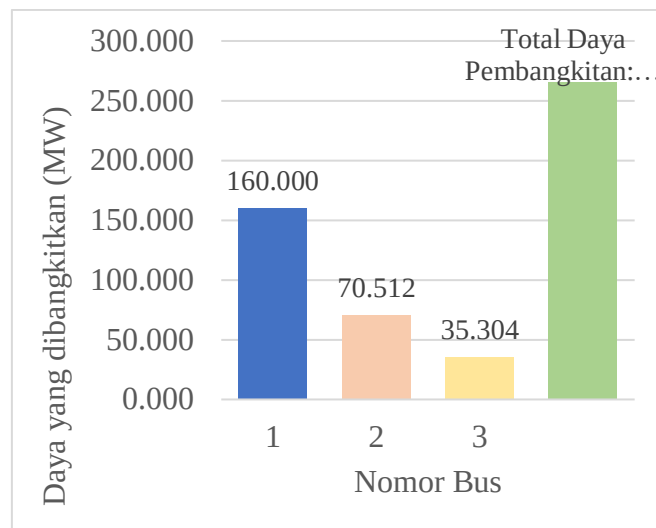
Nomor bus	Daya Pembangkitan (MW)	Biaya Bahan Bakar Pembangkitan (\$/jam)
1	160,000	625,000
2	70,512	316,458
3	35,304	184,162
Total	265,816	1125,620
Total rugi saluran transmisi daya aktif (MW)	6,022	
Total rugi saluran transmisi daya reaktif (Mvar)	-0,718	

Tabel 4.1 menunjukkan bahwa hasil pengujian sistem IEEE 14 bus menggunakan metode optimasi FOA diperoleh total rugi saluran transmisi daya aktif sebesar 6,022 MW, total rugi saluran transmisi daya reaktif sebesar -0,718 Mvar, dan total biaya bahan bakar pembangkitan sebesar 1125,620 \$/jam dengan total daya optimal yang dibangkitkan dari ketiga unit pembangkit sebesar 265,82 MW.



Gambar 1. Kurva konvergensi total biaya bahan bakar pembangkitan metode FOA sistem IEEE 14 bus

Daya optimal yang dibangkitkan oleh setiap unit pembangkit sistem kelistrikan IEEE 14 bus dan total daya optimal yang dibangkitkan diperlihatkan pada Gambar 2.



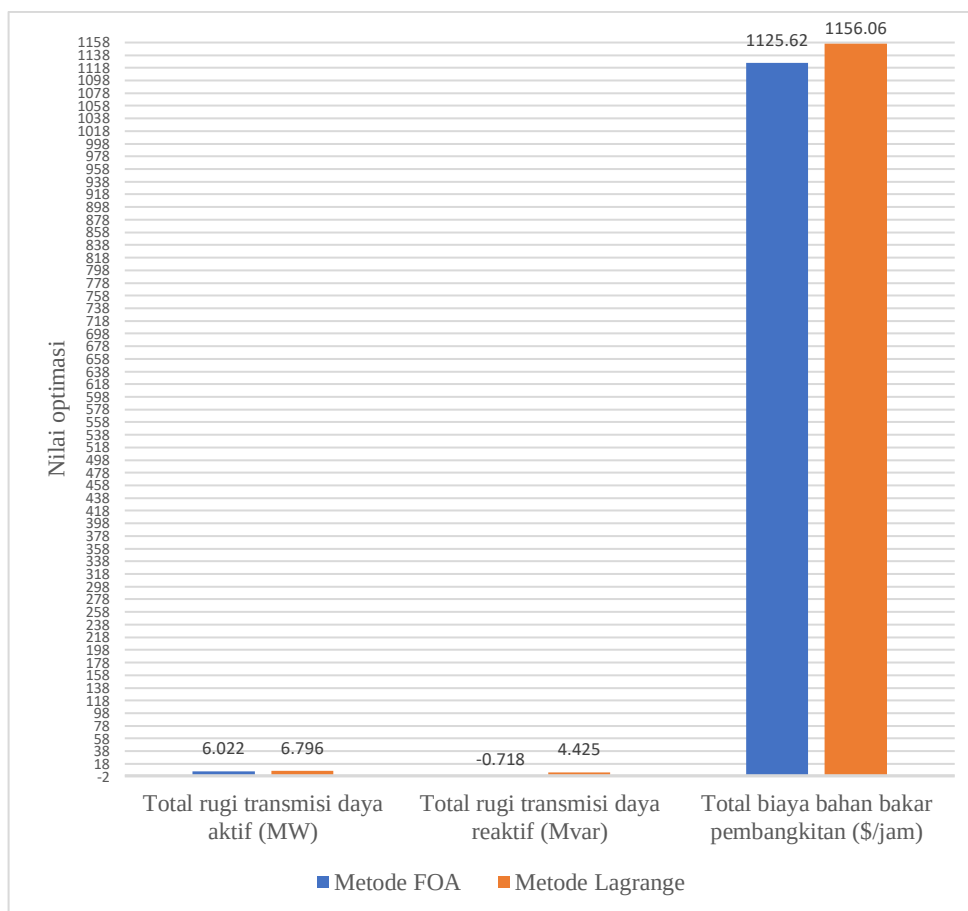
Gambar 2. Grafik daya optimal yang dibangkitkan oleh unit pembangkit sistem IEEE 14 bus

Selanjutnya, hasil pengujian sistem IEEE 14 bus menggunakan metode optimasi alat buah (metode FOA) dibandingkan dengan metode Lagrange diperlihatkan pada Tabel 2 dan grafik perbandingan hasil optimasinya ditunjukkan pada Gambar 3.

Tabel 2. Perbandingan hasil optimasi sistem IEEE 14 bus menggunakan metode FOA dengan metode Lagrange

Variabel Objektif	Metode yang digunakan	
	FOA	Lagrange
Total rugi transmisi daya aktif (MW)	6,022	6,796
Total rugi transmisi daya reaktif (Mvar)	-0,718	4,425
Total biaya bahan bakar pembangkitan (\$/jam)	1125,620	1156,060

Berdasarkan hasil pengujian yang dilakukan dengan menggunakan metode optimasi FOA menunjukkan bahwa nilai yang diperoleh dari ketiga variabel yang diuji lebih kecil dibandingkan dengan metode Lagrange yang menjadi metode pembanding seperti yang diperlihatkan pada Tabel 2. Dari perbandingan tersebut diperlihatkan bahwa selisih total rugi transmisi daya aktif sebesar 0,774 MW atau terjadi penurunan total rugi transmisi daya aktif sebesar 11,39 persen. Selisih total rugi transmisi daya reaktif sebesar 5,143 Mvar atau terjadi penurunan total rugi transmisi daya reaktif sebesar 83,77 persen. Sedangkan, selisih total biaya bahan bakar pembangkitan sebesar 30,44 \$/jam atau terjadi penurunan total biaya bahan bakar pembangkitan sebesar 2,63 persen.



Gambar 3. Grafik perbandingan hasil optimasi metode FOA dan metode Lagrange sistem IEEE 14 bus

2. Sistem Kelistrikan 62 bus

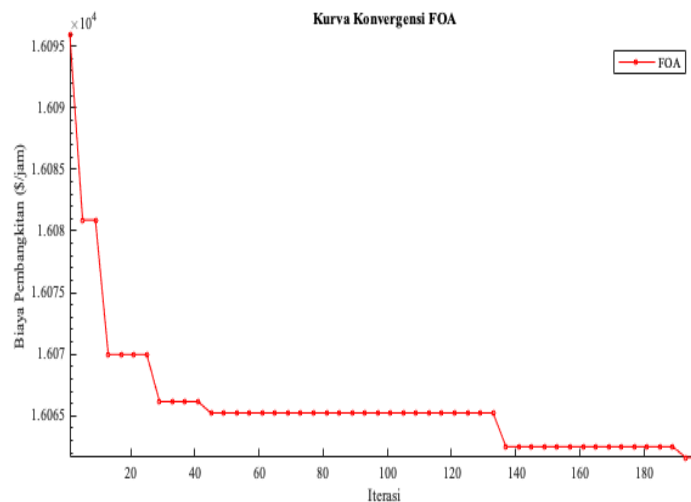
Hasil pengujian sistem IEEE 62 bus menggunakan metode FOA dengan 3 variabel objektif diperlihatkan pada Tabel 3 dan kurva konvergensi biaya bahan bakar pembangkitannya ditunjukkan pada Gambar 4 dengan waktu komputasi yang dibutuhkan adalah 946,24 detik.

Tabel 3. Hasil optimasi pengujian sistem IEEE 62 bus menggunakan metode FOA

Nomor bus	Daya Pembangkitan (MW)	Biaya Bahan Bakar Pembangkitan (\$/jam)
1	253,693	2270,637
2	190,581	992,090
5	255,687	1427,315
9	78,202	91,761
14	171,083	982,598
17	190,612	1052,279
23	151,842	905,521
25	250,249	1766,929
32	106,624	791,378

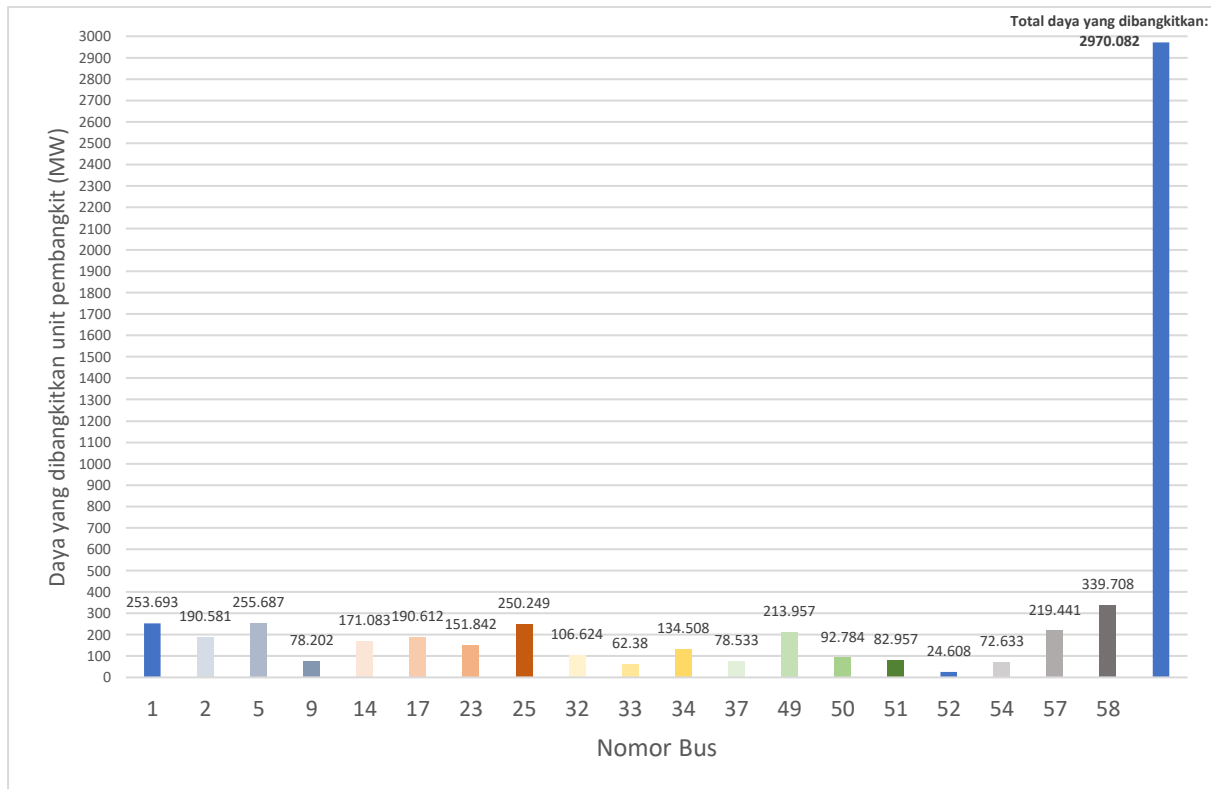
33	62,380	96,973
34	134,508	361,629
37	78,533	160,172
49	213,957	689,011
50	92,784	272,194
51	82,957	514,630
52	24,608	127,176
54	72,633	84,927
57	219,441	592,800
58	339,708	2881,606
Total	2971,535	16061,626
Total rugi saluran transmisi daya aktif (MW)		62,288
Total rugi saluran transmisi daya reaktif (Mvar)		-593,689

Tabel 3 menunjukkan bahwa hasil pengujian sistem IEEE 62 bus menggunakan metode optimasi FOA diperoleh total rugi saluran transmisi daya aktif sebesar 62,288 MW, total rugi saluran transmisi daya reaktif sebesar -593,689 Mvar, dan total biaya bahan bakar pembangkitan sebesar 16061,626 \$/jam dengan total daya optimal yang dibangkitkan dari 19 unit pembangkit sebesar 2971,535 MW.



Gambar 4. Kurva konvergensi total biaya bahan bakar pembangkitan sistem IEEE 62 bus menggunakan metode FOA

Daya optimal yang dibangkitkan oleh setiap unit pembangkit sistem kelistrikan IEEE 14 bus dan total daya optimal yang dibangkitkan dari 19 unit pembangkit diperlihatkan pada Gambar 5.



Gambar 5. Grafik daya optimal yang dibangkitkan oleh setiap unit pembangkit sistem kelistrikan IEEE 14 bus dan total daya optimal yang dibangkitkan

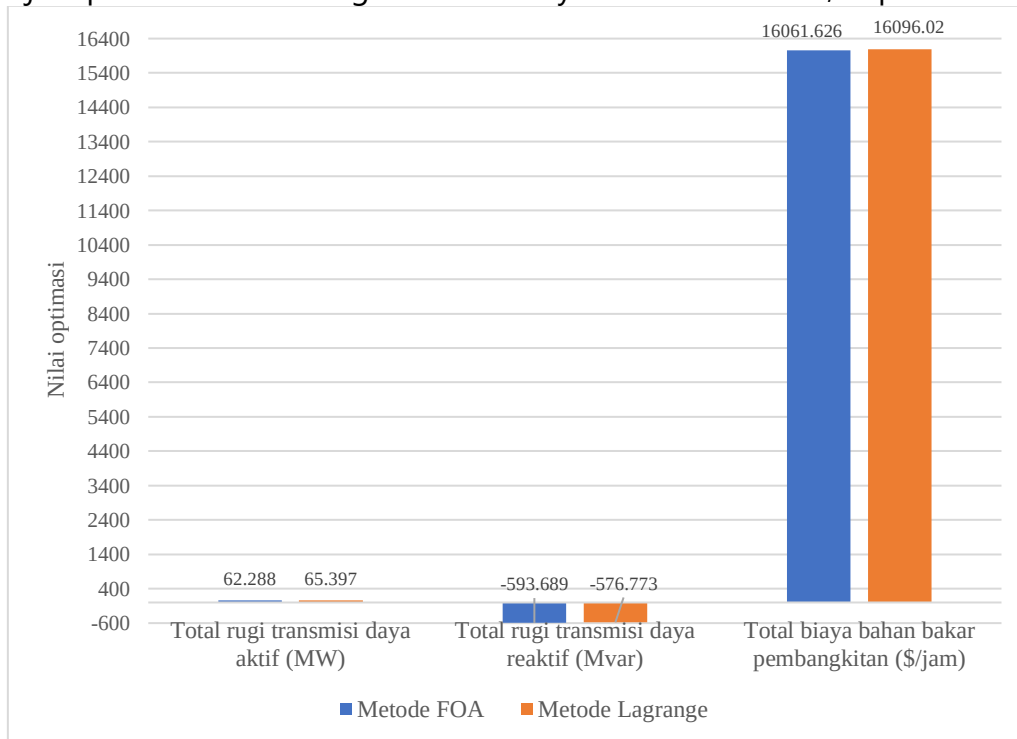
Selanjutnya, hasil pengujian sistem IEEE 62 bus menggunakan metode optimasi lalat buah (metode FOA) dibandingkan dengan metode Lagrange seperti yang diperlihatkan pada Tabel 4 dan grafik perbandingan hasil optimasinya ditunjukkan pada Gambar 6.

Tabel 4. Perbandingan hasil optimasi metode FOA sistem IEEE 62 bus menggunakan metode FOA dengan metode Lagrange

Variabel Objektif	Metode yang digunakan	
	FOA	Lagrange
Total biaya bahan bakar pembangkitan (\$/jam)	16061,626	16096,02
Total rugi transmisi daya aktif (MW)	62,288	65,397
Total rugi transmisi daya reaktif (Mvar)	-593,689	-576,773

Tabel 4 memperlihatkan bahwa hasil pengujian sistem IEEE 62 bus menggunakan metode optimasi FOA dengan tiga variabel objektif yang diuji menunjukkan nilai yang lebih kecil jika dibandingkan dengan nilai yang diperoleh dengan menggunakan metode Lagrange sebagai metode yang menjadi pembanding. Perbandingan nilai tersebut menunjukkan selisih total biaya bahan bakar pembangkitan yang digunakan sebesar 34,394 \$/jam atau terjadi penurunan penggunaan biaya bahan bakar pembangkit sebesar 0,2 persen dengan menggunakan

metode FOA. Selisih total rugi transmisi daya aktif menggunakan metode FOA dengan metode Lagrange sebesar 3,109 MW atau terjadi penurunan total rugi transmisi daya aktif sebesar 4,75 persen. Sedangkan, selisih total rugi transmisi daya reaktif menggunakan metode FOA dengan metode Lagrange sebesar 16,916 Mvar atau terjadi penurunan total rugi transmisi daya reaktif sebesar 2,85 persen.



Gambar 6. Grafik perbandingan hasil optimasi metode FOA dan metode Lagrange sistem IEEE 62 bus

KESIMPULAN

Berdasarkan hasil pengujian yang dilakukan dari dua sistem standar kelistrikan IEEE 14 bus dan sistem IEEE 62 bus untuk tiga variabel objektif yang diteliti dan daya optimal yang dibangkitkan dengan menggunakan metode lalat buah (metode FOA) maka dapat ditarik kesimpulan sebagai berikut:

1. Daya optimal yang dibangkitkan untuk sistem IEEE 14 bus sebesar 265,816 MW, sedangkan untuk sistem IEEE 62 bus daya optimum yang dibangkitkan sebesar 2971,535 MW.
2. Biaya penggunaan bahan bakar pembangkitan untuk sistem IEEE 14 bus sebesar 1125,620 \$/jam, sedangkan untuk sistem IEEE 62 bus biaya penggunaan bahan bakar yang diperoleh sebesar 16061,626 \$/jam.
3. Rugi-rugi transmisi daya aktif yang diperoleh untuk sistem IEEE 14 bus diperoleh sebesar 6,022 MW, sedangkan untuk sistem IEEE 62 bus diperoleh rugi-rugi transmisi daya aktif sebesar 62,288 MW.
4. Rugi-rugi transmisi daya reaktif yang diperoleh sebesar -0,718 Mvar, sedangkan untuk sistem IEEE 62 bus diperoleh rugi-rugi transmisi daya reaktif sebesar -593,689 Mvar.

5. Metode optimasi alat buah ini dapat digunakan oleh penyedia tenaga listrik untuk menjadwalkan penyaluran tenaga listrik untuk mendapatkan nilai minimum biaya bahan bakar pembangkitan dan daya optimal yang dibangkitkan dari pembangkit sistem tenaga listrik.

UCAPAN TERIMA KASIH

Terima kasih saya sampaikan kepada Bapak Dekan Fakultas Teknik UNM, bapak Prof.Dr.Ir.H.Muhammad Yahya,M.Kes,M.Eng,IPU,ASEAN Eng yang telah memberikan kepercayaannya untuk melaksanakan penelitian ini. Terima kasih juga saya ucapkan kepada bapak wakil dekan bidang akademik FT UNM, bapak Dr.H.Ruslan,M.Pd, bapak ketua jurusan Pendidikan Teknik Elektro, bapak Dr.Muhammad Yusuf Mappedasse,M.Pd, dan anggota penelitian ini bapak Muhammad Riska,S.Pd,M.Pd, dan Akhyar Muchtar,S.Pd,MT atas segala sumbangsih saran sehingga penelitian dapat terselesaikan sesuai waktu yang telah ditetapkan. Penelitian ini dibiayai oleh dana hibah PNPB Fakultas dengan nomor kontrak: 1249/UN36.11/LP2M/2021

DAFTAR PUSTAKA

- Abdelaziz, A. Y., Ali, E. S., & Abd Elazim, S. M. (2016). Flower Pollination algorithm to Solve Combined Economic and Emission Dispatch Problems. *Engineering Science and Technology, an International Journal*, 19(2), 980–990. <https://doi.org/10.1016/j.jestch.2015.11.005>
- Apostolopoulos, T., & Vlachos, A. (2011). Application of the Firefly Algorithm for Solving the Economic Emissions Load Dispatch Problem. *International Journal of Combinatorics*, 2011, 1–23. <https://doi.org/10.1155/2011/523806>
- Aurasopon, A., & Khamsen, W. (2019). An Improved Local Search Involving Bee Colony Optimization Using Lambda Iteration Combined With A Golden Section Search Method To Solve An Economic Dispatch Problem. *Przeglad Elektrotechniczny*, 95(1), 202–208. <https://doi.org/10.15199/48.2019.01.49>
- Basu, M. (2011). Economic Environmental Dispatch Using Multi-Objective Differential Evolution. *Applied Soft Computing Journal*, 11(2), 2845–2853. <https://doi.org/10.1016/j.asoc.2010.11.014>
- Bentouati, B., Chettih, S., & El-Sehiemy, R. A. (2017). A Chaotic Krill Herd Algorithm for Optimal Solution of the Economic Dispatch Problem. *International Journal of Engineering Research in Africa*, 31, 155–168. <https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/JERA.31.155>
- Chen, G., Li, C., & Dong, Z. (2017). Parallel and Distributed Computation for Dynamical Economic Dispatch. *IEEE Transactions on Smart Grid*, 8(2), 1026–1027. <https://doi.org/10.1109/TSG.2016.2623980>
- Chen, J., & Imani Marrani, H. (2020). An Efficient New Hybrid ICA-PSO Approach for Solving Large Scale Non-Convex Multi Area Economic Dispatch Problems. *Journal of Electrical Engineering and Technology*, 15(3), 1127–1145. <https://doi.org/10.1007/s42835-020-00416-7>
- Chiou, J. P. (2007). Variable Scaling Hybrid Differential Evolution for Large-Scale

- Economic Dispatch Problems. *Electric Power Systems Research*, 77(3–4), 212–218. <https://doi.org/10.1016/j.epsr.2006.02.013>
- Devi, A. L., & Krishna, O. V. (2008). Combined Economic and Emission Dispatch Using Evolutionary Algorithms-A Case Study. *Journal of Engineering and Applied Sciences*, 3(6), 28–35.
- El-Ela, A. A. A., El-Sehiemy, R. A., Rizk-Allah, R. M., & Fatah, D. A. (2018). Solving Multiobjective Economical Power Dispatch Problem using MO-FOA. *Proceeding of International Middle East Power Systems Conference (MEPCON)*, (1), 19–24.
- El-Sehiemy, R. A., Rizk-Allah, R. M., & Attia, A. F. (2019). Assessment of Hurricane versus Sine-Cosine Optimization Algorithms for Economic/Ecological Emissions Load Dispatch Problem. *International Transactions on Electrical Energy Systems*, 29(2), 1–14. <https://doi.org/10.1002/etep.2716>
- Elsakaan, A. A., El-sehiemy, R. A., Kaddah, S. S., & Elsaid, M. I. (2018). An Enhanced Moth-Flame Optimizer for Solving Nonsmooth Economic Dispatch Problems with Emissions. *Energy*, 1–24. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2018.06.088>
- Gaurav Kumar Gupta, S. G. (2017). Particle Swarm Intelligence based Dynamic Economic Dispatch with Daily Load Patterns Including Valve Point Effect. *IEEE*, 83–87.
- Geruna, H. A., Rul, N., Abdullah, H., Asril, M. Z., Mustafa, M., Samad, R., & Dispatch, A. E. (2017). Fruit Fly Optimization (FFO) for Solving Economic Dispatch Problem in Power System. *Proceeding of International Conference on System Engineering and Technology*, 2–3.
- Guang, C., Xiaolong, X., & Mengzhou, Z. (2018). Optimal Sitting and Parameter Selection for Fault Current Limiters Considering Optimal Economic Dispatch of Generators. *IEEE Conference on Industrial Electronics and Applications (ICIEA)*, 2084–2088.
- Ieng, S., Akil, Y. S., & Gunadin, I. C. (2019). Hydrothermal Economic Dispatch Using Hybrid Big Bang-Big Crunch (HBB-BC) Algorithm. *Journal of Physics: Conference Series*, 1198(5), 7–13. <https://doi.org/10.1088/1742-6596/1198/5/052006>
- Jiang, X., Zhou, J., Wang, H., & Zhang, Y. (2013). Dynamic Environmental Economic Dispatch using Multiobjective Differential Evolution Algorithm with Expanded Double Selection and Adaptive Random Restart. *International Journal of Electrical Power and Energy Systems*, 49(1), 399–407. <https://doi.org/10.1016/j.ijepes.2013.01.009>
- Jiejn, C., Xiaoqian, M., Lixiang, L., & Haipeng, P. (2007). Chaotic Particle Swarm Optimization for Economic Dispatch Considering the Generator Constraints. *Energy Conversion and Management*, 48(2), 645–653. <https://doi.org/10.1016/j.enconman.2006.05.020>
- Jizhong, Z. (2013). Optimization of Power System Operation. In *Journal of Chemical Information and Modeling* (Vol. 53, pp. 1689–1699). IEEE Press. <https://doi.org/10.1017/CBO9781107415324.004>
- Kaushal, R. K., & Thakur, T. (2020). Multiobjective Electrical Power Dispatch of Thermal

- Units with Convex and Non-Convex Fuel Cost Functions for 24 Hours Load Demands. *International Journal of Engineering and Advanced Technology*, 9(3), 1534–1542. <https://doi.org/10.35940/ijeat.b4508.029320>
- Koodalsamy, C., & Simon, S. P. (2013). Fuzzified Artificial Bee Colony Algorithm for Nonsmooth and Nonconvex Multiobjective Economic Dispatch Problem. *Turkish Journal of Electrical Engineering and Computer Sciences*, 21(SUPPL. 1), 1995–2014. <https://doi.org/10.3906/elk-1112-60>
- Li, C., De Bosio, F., Chen, F., Chaudhary, S. K., Vasquez, J. C., & Guerrero, J. M. (2017). Economic Dispatch for Operating Cost Minimization under Real-Time Pricing in Droop-Controlled DC Microgrid. *IEEE Journal of Emerging and Selected Topics in Power Electronics*, 5(1), 587–595. <https://doi.org/10.1109/JESTPE.2016.2634026>
- Liang, J., Zhang, H., Wang, K., & Jia, R. (2019). Economic Dispatch of Power System Based on Improved Fruit Fly Optimization Algorithm. *Proceeding of International Conference on Industrial Electronics and Applications (ICIEA)*, 1360–1366.
- M.Manjusha, S. F. (2016). Multi objective dynamic economic dispatch with cubic cost functions. *International Research Journal of Engineering and Technology (IRJET)*, 3(6), 692–701.
- Mei, J., & Zhao, J. (2018). An Enhanced Quantum-Behaved Particle Swarm Optimization for Security Constrained Economic Dispatch. *Proceedings of International Symposium on Distributed Computing and Applications for Business Engineering and Science*, (1), 221–224. <https://doi.org/10.1109/DCABES.2018.00064>
- Nawaz, A., Mustafa, E., Saleem, N., Khattak, M. I., Shafi, M., & Malik, A. (2017). Solving Convex and Non-Convex Static and Dynamic Economic Dispatch Problems using Hybrid Particle Multi-Swarm Optimization. *Tehnicki Vjesnik - Technical Gazette*, 24(4), 1095–1102. <https://doi.org/10.17559/tv-20150720093711>
- Nema, P., & Gajbhiye, S. (2014). Application of artificial intelligence technique to economic load dispatch of thermal power generation unit. *International Journal of Energy and Power Engineering*, 3(5), 15–20. <https://doi.org/10.11648/j.ijepe.s.20140305.13>
- Nurlita Gamayanti, Abdullah Alkaff, A. K. (2015). Optimasi dynamic economic dispatch menggunakan algoritma artificial bee colony. *JAVA Journal of Electrical and Electronics Engineering*, 13(1).
- Nwulu, N. (2018). Emission Constrained Bid Based Dynamic Economic Dispatch Using Quadratic Programming. *International Conference on Energy, Communication, Data Analytics and Soft Computing, ICECDS*, 213–216. <https://doi.org/10.1109/ICECDS.2017.8389806>
- Sadoudi, S., Boudour, M., & Kouba, N. E. Y. (2019). Gravitational Search Algorithm for Solving Equal Combined Dynamic Economic-Emission Dispatch Problems in Presence of Renewable Energy Sources. *Proceedings of the International*

- Conference on Applied Smart Systems, ICASS, (November), 1–5.
<https://doi.org/10.1109/ICASS.2018.8652059>
- Saravanan, R., Subramanian, S., Dharmalingam, V., & Ganesan, S. (2017). Economic Dispatch with Integrated Wind-Thermal using Particle Swarm Optimization. *International Journal of Advance Research and Innovation*, 5(1), 100–103.
- Singh, H. P., Brar, Y. S., & D. P.Kothari. (2019). Reactive Power Based Fair Calculation Approach for Multiobjective Load Dispatch Problem. *Archives of Electrical Engineering*, 68(4), 719–735. <https://doi.org/10.24425/ae.2019.130679>
- Sinha, N., Chakrabarti, R., & Chattopadhyay, P. K. (2003). Evolutionary Programming Techniques For Economic Load Dispatch. *IEEE Transactions on Evolutionary Computation*, 7(1), 83–94. <https://doi.org/10.1109/TEVC.2002.806788>
- Sivasubramani, S., & Swarup, K. S. (2011). Environmental/Economic Dispatch using Multi-Objective Harmony Search Algorithm. *Electric Power Systems Research*, 81(9), 1778–1785. <https://doi.org/10.1016/j.epsr.2011.04.007>
- Subathra, M. S. P., Easter Selvan, S., Aruldoss Albert Victoire, T., Hepzibah Christinal, A., & Amato, U. (2015). A Hybrid with Cross-Entropy Method and Sequential Quadratic Programming to Solve Economic Load Dispatch Problem. *IEEE Systems Journal*, 9(3), 1031–1044. <https://doi.org/10.1109/JSYST.2013.2297471>
- Subramanian, R., Thanushkodi, K., & Prakash, A. (2013). An efficient meta heuristic algorithm to solve economic load dispatch problems. *Iranian Journal of Electrical and Electronic Engineering*, 9(4), 246–252.
- Tyagi, N., Dubey, H. M., & Pandit, M. (2016). Economic load dispatch of wind-solar-thermal system using backtracking search algorithm. *International Journal of Engineering, Science and Technology*, 8(4), 16–27.
- Wang, S.-K., Chiou, J.-P., & Liu, C.-W. (2007). Non-Smooth/Non-Convex Economic Dispatch by a Novel Hybrid Differential Evolution Algorithm. *Generation, Transmission & Distribution, IET*, 1(5), 793–803. <https://doi.org/10.1049/iet-gtd:20070183>
- Xiong, G., Zhang, J., Yuan, X., Shi, D., He, Y., Yao, Y., & Chen, G. (2018). A Novel Method for Economic Dispatch with Across Neighborhood Search: A Case Study in a Provincial Power Grid, China. *Complexity*, 2018. <https://doi.org/10.1155/2018/2591341>
- Zakaria, Z., Rahman, T. K. A., & Hassan, E. E. (2014). Economic Load Dispatch via an Improved Bacterial Foraging Optimization. *International Power Engineering and Optimization Conference*, 380–385.
- Zheng, X., Wang, L., & Wang, S. (2014). An Enhanced Non-Dominated Sorting Based Fruit Fly Optimization Algorithm for Solving Environmental Economic Dispatch Problem. *Proceeding of Congress on Evolutionary Computation*, 626–633.
- Ziane, I., Benhamida, F., & Graa, A. (2017). Simulated Annealing Algorithm for Combined Economic and Emission Power Dispatch using Max/Max Price Penalty Factor. *Neural Computing and Applications*, 28, 197–205. <https://doi.org/10.1007/s00521-016-2335-3>