

Economic Dispatch Pada Sistem Kelistrikan JAMALI Menggunakan Algoritma Particle Swarm Optimization

1st Riandra Devano
Fakultas Teknik Elektro
Universitas Telkom
Bandung, Indonesia

riandradevano@telkomuniversity.ac.id

2nd Jangkung Raharjo
Fakultas Teknik Elektro
Universitas Telkom
Bandung, Indonesia

jangkungraharjo@telkomuniversity.ac.id

3rd Kharisma Bani Adam
Fakultas Teknik Elektro
Universitas Telkom
Bandung, Indonesia

kharislabaniadam@telkomuniversity.ac.id

Abstrak — Economic dispatch (ED) adalah salah satu yang utama dari sebuah permasalahan dalam optimalisasi sistem tenaga listrik. Tujuan utama dari economic dispatch (ED) adalah membuat jadwal yang optimal untuk semua pembangkit listrik agar dapat menghasilkan biaya minimum. Penelitian ini mengusulkan penggunaan metode algoritma pengoptimalan canggih yang dikenal sebagai Particle Swarm Optimization (PSO). Hasil yang diperoleh menunjukkan bahwa metode yang diusulkan dapat mengungguli metode optimasi lainnya. Tes dilakukan untuk menghitung ED dari 42 pembangkit di Jawa Madura Bali (Jamali) dengan sistem kelistrikan yang terdiri dari thermal dan pembangkit listrik tenaga air. Setelah dilakukan pengujian dengan beberapa kasus, algoritma Particle Swarm Optimization (PSO) berhasil melakukan pencarian biaya operasional minimum (Economic Dispatch) pada kasus beban sebesar 8378,972 MW didapatkan biaya operasional sebesar Rp 2,000,808,617

Kata kunci— Economic dispatch , Particle Swarm Optimization, Pembangkit Listrik Jawa Madura Bali.

I. PENDAHULUAN

Di Indonesia, kebutuhan energi mencapai 179,48 MTOE pada tahun 2008. Sedangkan pada tahun 2008 Indonesia menghasilkan listrik sebesar 149,44 TWh. Dari seluruh konsumsi listrik tersebut, sebagian besar listrik dikonsumsi oleh pelanggan yang terkoneksi dengan sistem interkoneksi Jawa Madura Bali (JAMALI), yaitu sebesar 78,11%. Energi primer yang digunakan oleh sistem interkoneksi JAMALI sebagian besar masih berupa batu bara, minyak bumi dan gas alam, masing-masing sebesar 40,90%, 29,13% dan 20,14% dari total pembangkit listrik sistem interkoneksi JAMALI. Indonesia juga kaya akan potensi energi terbarukan, dengan potensi besar untuk dikembangkan dalam penyediaan tenaga listrik. Potensi panas bumi ini banyak terdapat di Sumatera (13.800 MW), Jawa dan Bali (10.359,5 MW) dan Sulawesi (2.000 MW).

Dari total potensi tersebut, hanya 964 MW pembangkit listrik tenaga panas bumi (PLTP) yang dikembangkan yang berlokasi di Jawa Madura dan Bali. Tenaga air merupakan sumber energi terbarukan dengan potensi terbesar, namun

belum dapat dimanfaatkan secara efektif dalam hal penyediaan listrik. Potensi PLTA Indonesia diperkirakan mencapai 75.674 MW, namun hanya 4.200 MW (sekitar 5%) yang digunakan untuk memasok listrik [1]

Tingginya biaya bahan bakar ini sangat bergantung pada beban yang ditanggung oleh masing-masing genset. Semakin besar beban pada generator biaya bahan bakar lebih tinggi dikeluarkan. Untuk itu, beban dan biaya listrik pembangkit listrik memiliki korelasi dengan input dan output generator, yang membuat beban listrik sebagai fungsi dari biaya produksi. Menjaga pelayanan kepada konsumen dan meminimalisir mengingat kendala biaya bahan bakar per genset, maka diperlukan solusi disebut Economic Dispatch (EcD). Dengan penerapan EcD pada sistem kelistrikan, biaya Pembangkit listrik setiap unit dapat diminimalkan sesuai dengan pembangkit listrik [2].

II. KAJIAN TEORI

Ada beberapa batasan, termasuk parameter dari masing-masing generator, fungsi objektif, dan *ramp rate*. Itu parameter yang harus dipenuhi oleh algoritma *particle swarm optimization* (PSO) untuk masalah *economic dispatch*.

A. Data Pembangkit

Data yang digunakan dalam penelitian ini dikumpulkan dari 42 power pembangkit listrik tenaga uap dan pembangkit listrik tenaga air, dari sistem kelistrikan Jawa Madura Bali. Karakteristik masing-masing pembangkit listrik disajikan, termasuk batas laju *ramp*. Rincian data ditunjukkan pada Tabel 1. Kebutuhan beban harian yang digunakan dalam penelitian ini diambil dari eksisting sistem kelistrikan Jawa Madura Bali, yang disesuaikan dengan kebutuhan terpilih 42 pembangkit listrik.

TABEL 1.
Fuel cost coefficient of 42 power plants

TABLE I.	FUEL COST COEFFICIENT OF 42 POWER PLANTS FROM JAMALI ELECTRICITY SYSTEM, INDONESIA						
PP	a	b	c	P _{min}	P _{max}	RU	RD
(IDR)	(IDR/MW)	(IDR/MW ²)	(MW)	(MW/h)			
1	1.06	-796.5	500770.41	250	371.5	300	300
2	1.06	-796.5	500770.41	250	371.5	300	300
3	1.06	-796.5	500770.41	250	371.5	300	300
4	1.06	-796.5	500770.41	250	371.5	300	300
5	0.53	-380.731	548169.063	408	575	300	300
6	0.53	-380.731	548169.063	408	575	300	300
7	0.53	-380.731	548169.063	408	575	300	300
8	0	0	10000	87.5	174.6	720	720
9	0	0	10000	87.5	174.6	720	720
10	0	0	10000	87.5	174.6	720	720
11	0	0	10000	87.5	174.6	720	720
12	-29.86	2116.1058	578259.403	40	80	60	60
13	-29.86	2116.1058	578259.403	40	80	60	60
14	-1.88	253.0934	437774.976	75	170	120	120
15	-1.88	253.0934	437774.976	75	170	120	120
16	1.661	-1475.578	674957.404	220	480	300	300
17	1.661	-1475.578	674957.404	220	480	300	300
18	1.661	-1475.578	674957.404	220	480	300	300
19	967.659	-26243.28	837352.902	5	16	120	120
20	967.659	-26243.28	837352.902	5	16	120	120
21	0	0	15000	60	118.5	7200	7200
22	0	0	15000	60	118.5	7200	7200
23	0	0	15000	60	118.5	7200	7200
24	0	0	15000	60	118.5	7200	7200
25	0	0	15000	60	118.5	7200	7200
26	0	0	15000	60	118.5	7200	7200
27	0	0	15000	60	118.5	7200	7200
28	0	0	15000	60	118.5	7200	7200
29	0.67	-803.4	664191.82	400	661	180	180
30	0.67	-803.4	664191.82	400	661	180	180
31	0.67	-803.4	664191.82	400	661	180	180
32	0.67	-803.4	664191.82	400	661	180	180
33	-5.98	61.9058	620176.752	120	140	240	240
34	2.429	-2101.891	934134.238	200	459	240	240
35	2.429	-2101.891	934134.238	200	459	240	240
36	0.536	-727.78	828790.263	345	640	1200	1200
37	1.071	-1494.774	1142590.01	180	274	300	300
38	4.045	-3723.275	1659160.91	200	420	540	540
39	4.045	-3723.275	1659160.91	200	420	540	540
40	13.045	-5341.694	1068419.16	180	214	420	420
41	1.36	-963.92	541408.16	250	370	240	240
42	1.36	-963.92	541408.16	250	370	240	240

B. Economic Dispatch

Untuk mengurangi biaya keseluruhan supaya menghasilkan daya yang cukup untuk memenuhi tuntutan maka diperlukanlah *economic dispatch*. Pada proses ini dilakukan setiap jam dengan memilih generator mana yang akan beroperasi untuk memenuhi kebutuhan listrik. Optimasi ini harus memenuhi persamaan dan ketidaksetaraan kendala. Studi ini menganalisis *economic dispatch* untuk 42 pembangkit listrik di Sistem kelistrikan Jawa Madura Bali (Jamali), Indonesia, yang terdiri dari pembangkit listrik tenaga air dan pembangkit listrik tenaga air. [3]

C. Particle Swarm Optimization (PSO)

Optimasi kawanan partikel (PSO) adalah metode koputasi yang mengoptimalkan masalah dengan secara berulang, mencoba meningkatkan solusi yang berhubungan dengan ukuran kualitas tertentu. PSO memecahkan masalah dengan memiliki populasi solusi kandidat dimana, metode ini memindahkan partikel partikel diruang pencarian sesuai dengan rumus matematika sederhana atas posisi dan kecepatan partikel. PSO adalah *metaheuristik* karena membuat sedikit asumsi tentang masalah yang dioptimalkan dan dapat mencari ruang solusi yang sangat besar, selain itu PSO tidak menggunakan gradien masalah yang dioptimalkan, yang berarti PSO tidak mengharuskan masalah pengoptimalan yang dipersyaratkan oleh metode pengoptimalan klasik seperti penurunan gradien dan metode *kuasinewton* [4].

PSO bekerja dengan menggunakan banyak partikel yang membentuk kawanan. Setiap partikel terkait dengan solusi kandidat. Solusi kandidat hidup berdampingan dan berkolaborasi secara bersamaan. Setiap partikel kawanan terbang di area pencarian dan mencari tempat pendaratan terbaik. Area pencarian adalah kumpulan solusi yang

memungkinkan, dan kelompok partikel terbang (kawanan) mewakili solusi yang berubah. Selama pembangkitan (iterasi), setiap partikel mengikuti solusi terbaiknya (optimal) dan solusi terbaik dari *swarm*. Kemudian dua parameter di edit yaitu kecepatan udara dan posisi. Lebih khusus lagi, setiap partikel secara dinamis menyesuaikan kecepatan sebagai respons terhadap pengalaman terbangnya sendiri dan tetangganya. Demikian pula, ia mencoba mengubah lokasi berdasarkan informasi saat ini, kecepatan, jarak antara lokasi saat ini, optimal pribadi, dan optimis segerombolan. Kawanan partikel (burung) terus bergerak ke wilayah yang menjanjikan hingga menemukan global optimum yang memecahkan masalah optimisasi [5].

D. Constrains

Semua fungsi target yang digunakan harus memberikan hasil yang minimal atau optimal dan juga sesuai dengan kapasitas pembangkitan masing-masing spesifikasi generator pembangkit listrik JAMALI yang sesuai dengan permintaan daya. Fungsi tujuan ini harus diikuti oleh persamaan:

$$\sum_{i=1}^j P_i = P_d$$

Persamaan ini merupakan total pembebanan yang harus dipenuhi oleh system ini. Namun hasil keluaran dari setiap generator harus memenuhi nilai terendah dan nilai tertinggi daya operasi dari setiap generator yang diekspresikan dengan Persamaan:

$$P_{imin} \leq P_i \leq P_{max}$$

Pada Persamaan diatas, Pmin dan Pmax merupakan representasi dari daya minimum dan maximum daya generator-I.

$$P_{i,min} = , \max [P_{i,min}, P_i(t-1) - RD_i]$$

$$P_{i,max} = , \max [P_{i,max}, P_i(t-1) - RU]$$

Dikarenakan *Ramp-Up* dan *Ramp-Down* yang merupakan ramp-rate dari setiap generator dijadikan constrain, maka kedua persamaan *P-min* dan *P-max* berlaku.

E. Fungsi Objektif

Setiap generator pembangkit listrik memiliki fungsi biaya masing-masing, yang secara sederhana dapat dinyatakan sebagai fungsi kuadrat. Itu ekspresi teknik matematika standar ditampilkan dalam (1) [6]

$$\sum_{i=1}^n F_i = \alpha_i + \beta_i P_i^2 + \gamma_i P_i^2 \quad (1)$$

P_i = Power Generation dari Generator i
 $\alpha_i, \beta_i, \gamma_i$ = rumus koefisien Emisi dari Generator

$N = \text{Jumlah Generator}$

III. METODE

Tujuan utama *economic dispatch* adalah mencari biaya produksi minimum. PSO digunakan untuk menghitung biaya optimal dengan mengikuti fungsi objektif untuk setiap pembangkit. Data harian disimulasikan untuk menghasilkan data setiap jam dari setiap pembangkit listrik. *Economic Dispatch* dihitung untuk data dari 42 pembangkit listrik dalam sistem kelistrikan Jawa Madura Bali. Data harian disimulasikan untuk menghasilkan data setiap jam dari setiap pembangkit listrik untuk memenuhi beban harian di Jawa Madura Bali.

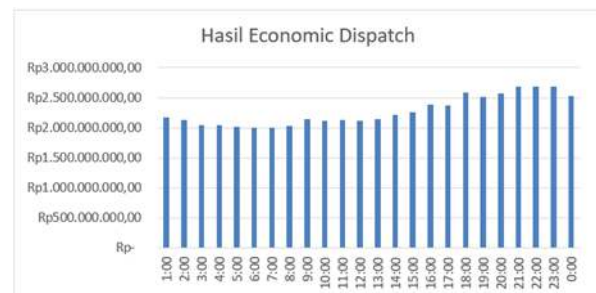
TABEL 2
Data Daya Beban Per jam

Jam	Load (MW)
1:00	8761.424
2:00	8712.112
3:00	8613.108
4:00	8573.296
5:00	8508.748
6:00	8462.08
7:00	8378.972
8:00	8526.612
9:00	8617.076
10:00	8759.572
11:00	8876.06
12:00	8753.608
13:00	8755.876
14:00	8863.112
15:00	9234.128
16:00	9470.988
17:00	9848.876
18:00	10023.51
19:00	10143.62
20:00	10264.07
21:00	10395.49
22:00	10411.1
23:00	10340.36
0:00	10030.3

Pengujian dilakukan dengan menggunakan jumlah demand per 24 jam sesuai data dari Tabel 2, Untuk Popsiz 1000 (Jumlah angka yang dimunculkan di algoritma) dan jumlah iterasi yang sama untuk pengecekan bahwa hasil tersebut adalah paling minimum adalah 200. Dan pada tabel 3 adalah hasil dari *economic dispatch*.

TABEL 3
Data Hasil *Economic Dispatch*

Jam	Load (MW)	Cost (Rp/Jam)
01.00	8761,424	Rp 2,171,906,282.22
02.00	8712,112	Rp 2,130,899,483.43
03.00	8613,108	Rp 2,049,857,689.68
04.00	8573,296	Rp 2,045,766,987.70
05.00	8508,748	Rp 2,020,209,716.55
06.00	8462,08	Rp 2,006,741,257.82
07.00	8378,972	Rp 2,000,808,617.22
08.00	8526,612	Rp 2,031,967,796.37
09.00	8617,076	Rp 2,141,383,338.83
10.00	8759,572	Rp 2,118,871,613.96
11.00	8876,06	Rp 2,137,293,755.03
12.00	8753,608	Rp 2,117,955,919.37
13.00	8755,876	Rp 2,138,202,098.26
14.00	8863,112	Rp 2,208,810,675.12
15.00	9234,128	Rp 2,263,303,819.67
16.00	9470,988	Rp 2,382,346,022.35
17.00	9848,876	Rp 2,377,679,817.32
18.00	10023,51	Rp 2,580,169,869.78
19.00	10143,62	Rp 2,513,122,806.22
20.00	10264,07	Rp 2,577,456,773.20
21.00	10395,49	Rp 2,691,957,087.03
22.00	10411,1	Rp 2,693,486,987.96
23.00	10340,36	Rp 2,681,635,930.29
24.00	10030,3	Rp 2,525,829,533.18



GAMBAR 1.
Kurva Hasil *Economic Dispatch* Per jam

Bisa dilihat dari Gambar 2, *Economic Dispatch* terendah pada pukul 07.00 dengan harga Rp2,000,808,617.22. dan *Economic Dispatch* tertinggi terjadi pada pukul 22.00 dengan harga Rp 2,693,486,987.96.

Disini kami melakukan perbandingan dengan *Komodo Mlipir algorithm*, karena Algoritma ini melakukan pengujian menggunakan data *cost coefficient* yang sama dengan penelitian kami.

TABEL 4
Perbandingan Dengan Algoritma Lain.

Metode	Jumlah Generator	Biaya Operasional (Rp/Jam)
PSO	42	2,819,633,402.22
KMA	42	4,479,537,419.61

Dengan menggunakan scenario permintaan yang sama yaitu 11,013 MW. Disini kita dapat melihat bahwa algoritma Algoritma *Particle Swarm Optimization* (PSO) lebih unggul dibandingkan dengan *Komodo Mlipir Algorithm* (KMA). Dari hasil percobaan menunjukkan PSO memberikan yang lebih baik dari pada metode KMA dan dapat dikurangi biaya sebesar 59% dengan selisih harga sebesar Rp. 1.659.904.017,39

IV. KESIMPULAN

Dari hasil simulasi dan pengujian sistem, pada tugas akhir ini yang telah mengusulkan Optimasi Penjadwalan Pembangkit Daya Pada Sistem Kelistrikan Jawa Madura Bali Menggunakan Algoritma Particle Swarm Optimization.

Sistem yang dibuat pada tugas akhir ini sudah dapat melakukan economic dispatch dengan baik dan cepat di kawasan Jawa Madura Bali, dengan adanya economic dispatch ini kita dapat mengurangi biaya keseluruhan supaya menghasilkan daya yang cukup untuk memenuhi tuntutan. Optimasi biaya tertinggi yang di dapatkan oleh algoritma PSO di kawasan Jawa Madura Bali terjadi pada pukul 22.00 dengan harga Rp 2,693,486,987.96. Selain itu, optimasi terendah yang didapat dari algoritma PSO ini terjadi pada pukul 07.00 dengan harga Rp2,000,808,617.22.

Hasil yang diperoleh menunjukkan bahwa metode yang diusulkan dapat mengungguli metode yang dibandingkan. Algoritma PSO ini menghasilkan hasil yang lebih unggul dibandingkan dengan Algoritma KMA

REFERENSI

- [1] S. Kanata, "Kajian Ekonomis Pembangkit Hybrid Renewable Energi Menuju Desa Mandiri Energi di Kabupaten Bone-Bolango," *Jurnal Rekayasa Elektrika*, pp. 114-122, 2015.
- [2] H. Saadat, "Power System Analysis." WCB McGraw-Hil, New York, p. 691, 1999.
- [3] I. A. Aditya, A. A. Simaremare, J. Raharjo, Suyanto and I. Wijayanto, "Komodo Mlipir Algorithm to Solve Generator Scheduling Problems," 2022 2nd International Conference on Electronic and Electrical Engineering and Intelligent System (ICE3IS), Yogyakarta, Indonesia, 2022, pp. 84-88, doi: 10.1109/ICE3IS56585.2022.10010294.
- [4] Poli, Riccardo, James Kennedy, and Tim Blackwell. "Particle swarm optimization." *Swarm intelligence* 1.1 (2007): 33-57.
- [5] H.Rhim "How Does Particle Swarm Optimization Work",baeldung.
"https://www.baeldung.com/cs/pso#3-mathematical-models"(Accessed January 12 2023).
- M. Neyestani, M. M. Farsangi, H. Nezamabadipour, and K. Y. Lee, "A modified particle swarm optimization for economic dispatch with nonsmooth cost functions," *IFAC Proc. Vol.*, vol. 42, no. 9, pp. 267-272, 2009, doi: 10.3182/20090705-4-SF-2 005.0000