

# Pembangkitan Ekonomis pada Sistem Kelistrikan Mahakan 150 kV dengan Menggunakan *Particle Swarm Optimization* (PSO)

Taqiyuddin<sup>1</sup>

**Abstract**— This paper presents a method for determining the economic dispatch in accordance with the request of load requirements. The main purpose of the ED problem is to minimize the total cost of fuel at thermal plants in the electricity system. Particle swarm optimization (PSO) method is proposed to solve the problem of minimization of the fuel cost. This method was tested on the standard IEEE 26-bus test system to validate superiority of the proposed method compared with other methods before simulated on a real system, the Mahakam 150 kV electrical system.

**Intisari**— Paper ini menyajikan metode untuk menentukan pembangkitan ekonomis (*economic dispatch*, ED) berdasarkan permintaan kebutuhan beban. Tujuan utama dari masalah ED adalah untuk meminimalkan biaya bahan bakar total pada pembangkit-pembangkit termal yang ada dalam sistem kelistrikan. Metode *particle swarm optimization* (PSO) diusulkan untuk menyelesaikan masalah minimalisasi biaya bahan bakar. Metode ini diuji pada standar IEEE sistem uji 26-bus sebagai validitas terhadap keunggulan dari metode yang diusulkan dibandingkan dengan metode lain sebelum disimulasikan pada sistem real, yakni sistem kelistrikan Mahakam 150 kV.

**Kata Kunci**— Pembangkitan Ekonomis, ED, *particle swarm optimization* (PSO), minimalisasi.

## I. PENDAHULUAN

Di dalam sistem penyediaan daya listrik, terdapat rentang area yang luas dalam masalah yang melibatkan proses pengoptimalan. Termasuk di dalamnya pembangkitan secara individu, sistem transmisi, sistem distribusi, atau kombinasi di antaranya. Pada umumnya, sasarannya adalah untuk meminimalkan biaya konstruksi dan operasi dari sistem. Efisiensi secara ekonomis atau meningkatkan profit kemudian menjadi fungsi tujuan dan pemenuhan kebutuhan lainnya direpresentasikan sebagai kendala. Keputusan dapat melingkupi periode yang berbeda, meliputi: jangka panjang, jangka menengah, jangkakan pendek, atau dalam kondisi *online*. Bentuk ini sebagai suatu struktur tipikal secara hierarki dari perluasan perencanaan, penjadwalan pemeliharaan, penjadwalan sumber bahan bakar, *unit commitment*, pembangkitan ekonomis sampai ke aliran daya optimal [1].

Kebutuhan mendasar dari pembangkitan daya ekonomis atau biasa dikenal sebagai *economic dispatch* (ED) adalah untuk membangkitkan daya listrik yang memadai untuk memenuhi perubahan secara kontinyu dari permintaan kebutuhan beban konsumen listrik dengan biaya serendah mungkin yang dimungkinkan berdasarkan sejumlah kendala

yang ada. Tujuan utama dari masalah ED adalah untuk meminimalkan biaya bahan bakar total pada pembangkit-pembangkit termal yang ada dalam sistem kelistrikan [1].

Berbagai metode telah dan terus dikembangkan untuk menyelesaikan masalah ED, mulai dari metode konvensional seperti Iterasi Lambda, Gradient, dan Newton-Raphson yang menggunakan kurva biaya secara inkremental dimana metode ini dapat dilakukan jika kurva karakteristik biaya inkremental ini diidealkan terlebih dahulu, sehingga kurva terbentuk menjadi halus dan *convex* [2,3]. Ketika permasalahan ED menjadi *non-convex* yakni dengan memperhitungkan efek *valve-point* dari pembangkit dengan meningkatnya permintaan beban [3], maka masalah ini dapat diselesaikan dengan menggunakan metode *dynamic programming* (DP) [4-6]. Namun demikian, perkembangan sistem tenaga listrik yang semakin kompleks telah menyebabkan metode konvensional tidak mampu lagi menyelesaikan permasalahan ED yang timbul. Hal ini, kemudian melahirkan beberapa metode alternatif yang berbasis pada genetika atau berdasarkan perilaku makhluk hidup, yang kemudian melahirkan metode heuristik atau metaheuristik seperti metode algoritma genetik (GA), *differential search* (DS), *grey wolf optimization* (GWO), *neural network* (NN), ataupun *particle swarm optimization* (PSO) [7-16].

*Particle swarm optimization* (PSO) adalah metode pengoptimalan metaheuristik yang awalnya ditemukan dan diperkenalkan oleh J. Kennedy dan Eberhart R. pada tahun 1995 yang didasarkan pada perilaku sosial binatang seperti perilaku pergerakan kawanan burung atau ikan dalam mencari makanan sehingga dapat diterapkan pada metode penelitian ilmiah maupun rekayasa [17].

## II. ECONOMIC DISPATCH (ED)

Fungsi biaya bahan bakar pada masing-masing unit pembangkit pada umumnya dapat dinyatakan sebagai fungsi kuadrat yaitu :

$$C_i(P_i) = \alpha + \beta_i P_i + \gamma_i P_i^2 \quad (1)$$

Sehingga fungsi tujuan untuk meminimalkan total biaya bahan bakar pembangkitan dapat dinyatakan sebagai:

$$C_t = \min \sum_{i=1}^N C_i(P_i) \quad (2)$$

dengan

$C_t$  = total biaya bahan bakar  
 $C_i$  = biaya bahan bakar pembangkit unit- $i$   
 $i$  = unit pembangkit

<sup>1</sup>Program Studi Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Balikpapan, Jln. Pupuk Raya Gn. Bahagia Balikpapan 76114 INDONESIA (e-mail: [taqiyuddin.rahman@gmail.com](mailto:taqiyuddin.rahman@gmail.com))

$\alpha_i, \beta_i,$  dan  $\gamma_i$  = koefisien fungsi biaya bahan bakar  
 $P_i$  = daya keluaran pembangkit unit  $i$

Dalam meminimalkan total biaya bahan bakar ini, perlu memperhatikan batas kendala sebagai berikut :

1. Total daya *output* pembangkitan harus sama dengan total permintaan beban ditambah dengan total rugi-rugi daya transmisi yang dapat dinyatakan dengan persamaan sebagai berikut :

$$C_t = \min \sum_{i=1}^N C_i (P_i) \tag{3}$$

dan

$$P_l = P_i^T B P_i \tag{4}$$

dengan

$P_l$  = rugi-rugi transmisi  
 $P_i^T$  = daya *output* pembangkit  $i$  di *transpose*  
 $P_i$  = daya *output* pembangkit  $i$   
 $B$  = koefisien rugi-rugi transmisi  
 $P_d$  = daya permintaan beban

2. Batasan kemampuan pembangkit termal unit- $i$  berdasarkan kapasitas maksimum dan minimum pembangkit yang dapat dinyatakan dengan pertidaksamaan :

$$P_{i,min} \leq P_i \leq P_{i,max} \tag{5}$$

dengan

$P_i$  = daya keluaran pembangkit unit- $i$   
 $P_{i,min}$  = daya pembangkitan minimum unit- $i$   
 $P_{i,max}$  = daya pembangkitan maksimum unit- $i$

### III. PARTICLE SWARM OPTIMIZATION

*Particle Swarm Optimization* disingkat PSO, didasarkan pada perilaku koloni atau sekawanan serangga, seperti semut, rayap, lebah, dan tawon, kawanan burung; ataupun *school of fish*. Algoritma PSO meniru perilaku sosial organisme ini. Kata partikel menunjukkan, misalnya, lebah di koloni atau burung di kawanan. Setiap individu atau partikel dalam kawanan berperilaku dalam cara didistribusikan dengan menggunakan kecerdasan sendiri dan kecerdasan kolektif atau kelompok kawanan. sebagaimana, jika satu partikel menemukan jalur yang baik menuju makanan, sisa kawanan juga akan langsung mampu mengikuti jalur yang baik bahkan meskipun lokasi mereka jauh dari kawanan tersebut. Metode pengoptimalan berdasarkan kecerdasan kawanan, sifat perilaku inilah yang menjadi inspirasi dari algoritma PSO yang bertentangan dengan algoritma genetika, yang prosedurnya berbasis evolusi [18]. Algoritma PSO awalnya diusulkan oleh Kennedy dan Eberhart pada tahun 1995 [17].

#### A. Metode dan Pemodelan PSO

Dalam PSO, sejumlah  $N$  partikel membentuk kawanan yang berkembang atau terbang di seluruh ruang pencarian untuk mencari solusi optimal atau dekat dengan optimal. Koordinat setiap partikel merupakan solusi yang mungkin dengan dua vektor yang terkait dengan itu, posisi  $X$  dan vektor kecepatan  $V$ . Selama pencarian mereka, partikel berinteraksi satu sama lain dengan cara tertentu untuk mengoptimalkan pengalaman pencarian mereka. Ada varian yang berbeda dari paradigma partikel kawanan, tetapi yang paling umum adalah model  $P_{gb}$ , dimana seluruh populasi dianggap sebagai lingkungan tunggal selama proses optimisasi. Dalam setiap iterasi, partikel dengan solusi terbaik menyampaikan informasi koordinat posisinya ( $P_{gb}$ ) kepada kawanan yang lain.

Dengan demikian variabel didefinisikan sebagai berikut.

Posisi dan kecepatan partikel ke- $i$  pada waktu  $t$  adalah vektor berdimensi- $n$  yang dinotasikan dengan

$$X_i(t) = (x_{i,1}, x_{i,2}, \dots, x_{i,n}) \in S \tag{6}$$

$$V_i(t) = (v_{i,1}, v_{i,2}, \dots, v_{i,n}) \in S \tag{7}$$

Posisi terbaik sebelumnya dari partikel ke- $i$  pada waktu  $t$  dan Posisi global terbaik yang pernah dicapai di antara semua partikel adalah titik di  $S$ , yang dinotasikan dengan

$$P_i(t) = (p_{i,1}, p_{i,2}, \dots, p_{i,n}) \in S \tag{8}$$

$$P_{gb} = (p_{gb,1}, p_{gb,2}, \dots, p_{gb,n}) \in S \tag{9}$$

Kemudian, masing-masing partikel mengupdate koordinatnya berdasarkan pada pengalaman pencarian terbaiknya sendiri ( $P_i$ ) dan  $P_{gb}$  sesuai dengan kecepatan dan persamaan posisi baru berikut:

$$V_i(t+1) = \theta \times V_i(t) + C_1 \times r_1 \times (P_i - X_i(t)) + C_2 \times r_2 \times (P_{gb} - X_i(t)) \tag{10}$$

$$X_i(t+1) = X_i(t) + V_i(t+1) \tag{11}$$

dengan  $\theta$  adalah bobot inersia,  $C_1, C_2$  koefisien akselerasi (*learning rate*),  $r_1, r_2$  dua pemisah yang dihasilkan angka acak merata dalam kisaran  $\{0,1\}$  ditambahkan dalam model untuk memperkenalkan sifat stokastik.

Bobot inersia  $\theta$  diperkenalkan oleh Shi dan Eberhart pada tahun 1999, untuk meredam kecepatan selama proses iterasi, sehingga memungkinkan kawanan untuk konvergen lebih akurat dan efisien dibandingkan dengan algoritma PSO yang asli [19]. Bobot inersia dirumuskan sebagai :

$$\theta(i) = \theta_{max} - \left( \frac{\theta_{max} - \theta_{min}}{i_{max}} \right) \times i \tag{12}$$

dengan  $\theta_{max}$  dan  $\theta_{min}$  masing-masing adalah nilai-nilai awal dan akhir dari bobot inersia, dan  $i_{max}$  adalah jumlah iterasi maksimum yang digunakan dalam PSO. Nilai-nilai  $\theta_{max} = 0,9$  dan  $\theta_{min} = 0,4$  yang umum digunakan.

Clerc M pada tahun 1999 melakukan penerapan *constriction factor*  $\chi$  pada PSO [20]. Hal ini bertujuan untuk menjamin suatu penelusuran dalam algoritma PSO untuk konvergen lebih cepat. Persamaan dinamis dari PSO menjadi:

$$X_i(t+1) = X_i(t) + \chi \times V_i(t+1) \tag{13}$$

dengan

$$\chi = \frac{2}{2 - \varphi - \sqrt{\varphi^2 - 4\varphi}}$$

dan  $\varphi = c_1 + c_2$  ;  $\varphi > 4$

Metode pengembangan PSO ini kemudian dikenal sebagai *modified improved particle swarm optimization (MIPSO)* [20].

IV. IMPLEMENTASI METODE YANG DIUSULKAN

Pemodelan sistem dari proses simulasi pembangkitan ekonomis (*economic dispatch*) dari minimilisasi biaya bahan bakar pembangkit-pembangkit termal yang diusulkan, dilakukan pada dua sistem kelistrikan, yakni:

1. standar IEEE sistem uji 26-bus, dan
2. sistem kelistrikan Mahakam 150 kV,

dengan kasus pertama (standar IEEE 26-bus) digunakan sebagai validitas untuk menguji unjuk kerja dari algoritma yang diusulkan, sedangkan kasus kedua sebagai pemodelan terhadap pengoptimalan pembangkitan ekonomis dan dapat diusulkan sebagai alternatif pengoptimalan pada sistem kelistrikan sebenarnya, yakni pada sistem kelistrikan Mahakam 150 kV.

Metode PSO diterapkan untuk menentukan nilai ekonomis setiap pembangkit. Proses dan prosedur pengoptimalan diperlihatkan dalam diagram alir pada Gbr 1.

V. HASIL SIMULASI DAN DISKUSI

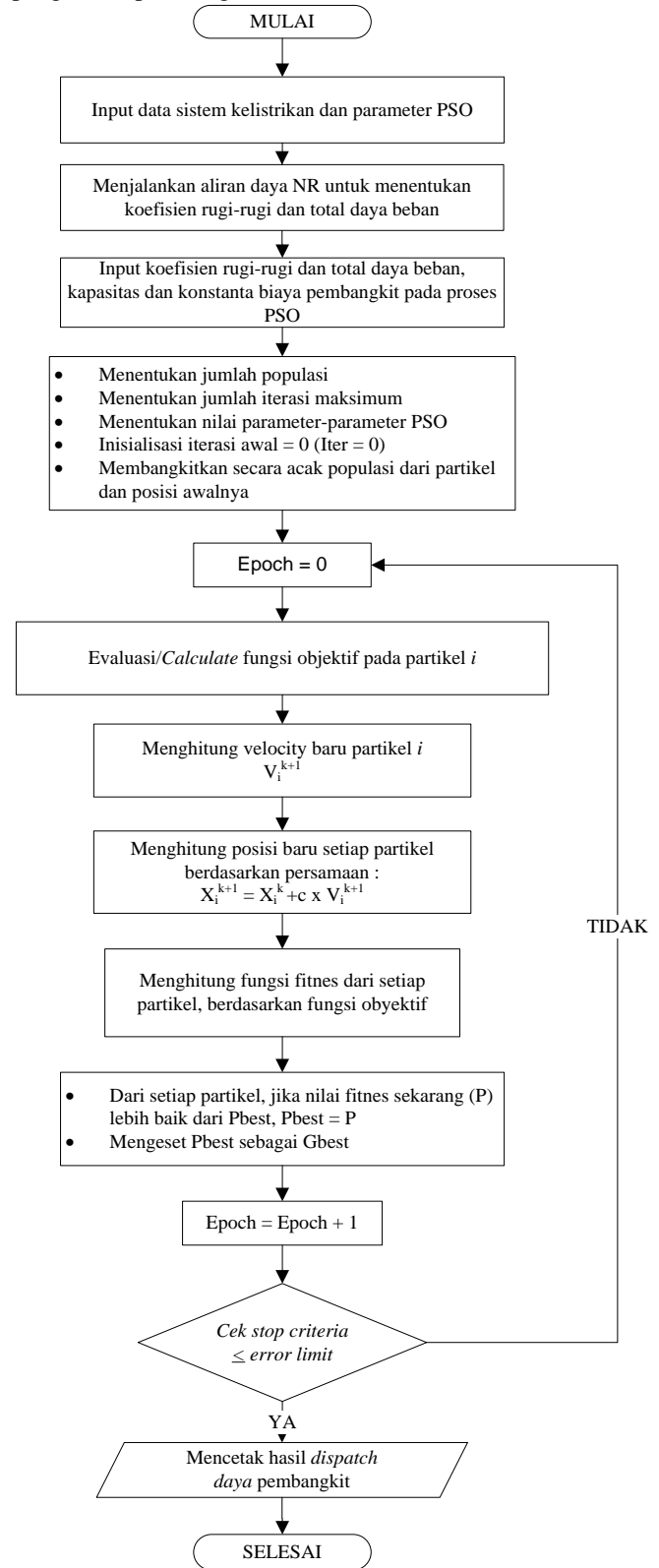
A. Simulasi Standar IEEE Sistem 26 Bus

Data standar IEEE sistem uji 26-bus yang digunakan, merujuk pada [2], meliputi:

- terdiri dari 6 pembangkit termal, 26 bus dan 46 saluran transmisi.
- total beban sebesar 1.263 MW dan 637 MVAR.
- mempunyai 6 variabel pengontrolan berdasarkan daya aktif output dari pembangkit

Hasil simulasi dan perbandingan dengan metode Newton-Raphson maupun metode iterasi Lambda ditunjukkan pada Tabel I. Metode PSO yang diusulkan membutuhkan biaya bahan bakar pembangkit sebesar **15.693,298 \$/jam**, sedangkan metode Newton-Raphson dan iterasi Lambda, masing-masing sebesar **16.760,73 \$/jam** dan **16.760,00 \$/jam**. Dengan demikian, terjadi koreksi sekitar **1.066.7 \$/jam** atau **6,4%**. Hal ini menunjukkan kemampuan dan keandalan metode PSO yang diusulkan dibandingkan dengan metode

konvensional, yang digunakan PLN sebagai metode pengaturan pembangkitan dalam sistem kelistrikan Mahakam.



Gbr. 1 Diagram alir proses pengoptimalan pembangkitan ekonomis dengan metode PSO.

TABEL I.  
HASIL SIMULASI PADA STANDAR IEEE SISTEM 26-BUS

Pembangkitan	Newton-Raphson	Iterasi Lambda	Metode yang diusulkan
P1 (MW)	719,534	474,11	473,894
P2 (MW)	79,00	173,07	171,560
P3 (MW)	20,00	290,09	190,095
P4 (MW)	100,00	150,00	149,999
P5 (MW)	300,00	196,72	197,846
P26 (MW)	60,00	103,05	104,083
Biaya (\$/jam)	<b>16.760,73</b>	<b>16.760,00</b>	<b>15.693,298</b>
Losses (MW)	<b>15,53</b>	<b>24,04</b>	<b>24,48</b>
Hasil setelah 10 kali Simulasi			
	<b>Biaya (\$/jam)</b>	<b>Losses (MW)</b>	
Max (terjelek)	15.693,2981934803	24.4791593387005	
Min (terbaik)	15.693,2981934800	24.4791584936890	
Rerata	15.693,298	24,48	
Standar Deviasi	9,49540E-11	2,76822E-07	

### B. Simulasi pada Sistem Kelistrikan Mahakam 150 kV

Data pembebanan yang digunakan sebagai acuan dalam penelitian ini adalah data operasional PT. PLN (persero) pada operasi beban puncak yang terjadi pada hari Senin tanggal 20 April 2015 pukul 19.00 Wita. Daya yang dibangkitkan dari seluruh pembangkit sistem sebesar 380,85 MW dengan beban puncak (yang tercatat di sisi konsumen) sebesar 366,34 MW atau terjadi rugi-rugi daya sebesar 14,51 MW.

Namun demikian, beberapa data penting untuk pengoptimalan pembangkitan ekonomis, seperti: kapasitas maksimum dan minimum, karakteristik, dan nilai total biaya pembangkit tidak diperoleh sampai dengan paper ini dibuat. Sehingga pendekatan-pendekatan dibuat untuk menunjukkan bahwa pemodelan pada sistem real dapat dilakukan.

Klasifikasi sistem bus pada sistem kelistrikan Mahakam 150 kV dibedakan sebagai berikut :

1. Bus *slack* adalah bus 1 (bus stasiun pembangkit Embalut)
2. Bus generator pengontrol (bus P-V)

Terdiri dari 10 buah bus generator pengontrol yakni : bus 2 (CFK), bus 3 (Bukit Biru), bus 4 (Tengkawang), bus 5 (Harapan Baru), bus 8 (Muara Badak), bus 9 (Teluk Pandan), bus 10 (Karang Joang), bus 11 (Senipah), bus 12 (Manggar Sari), dan bus 13 (Industri).

3. Bus beban (bus P-Q)

Keseluruhan bus juga bertindak sebagai bus P-Q, kecuali bus CFK. Bus 6 (Bukuan) dan bus 7 (Sambutan) sebagai beban murni.

4. Sedangkan GI Teluk Balikpapan belum beroperasi pada saat data ini diperoleh.

Data sistem kelistrikan Mahakam 150 kV berdasarkan pada data beban puncak yakni pada pukul 17:00. Data besarnya daya yang dibangkitkan sesuai dengan permintaan beban yang dibutuhkan, data saluran transmisi, dan diagram *single line* sistem kelistrikan Mahakam, masing-masing ditunjukkan pada Tabel II, Tabel III, dan Gbr 2.

Pengoptimalan pembangkitan ekonomis dengan menggunakan metode PSO melibatkan parameter-parameter PSO sebagai berikut :

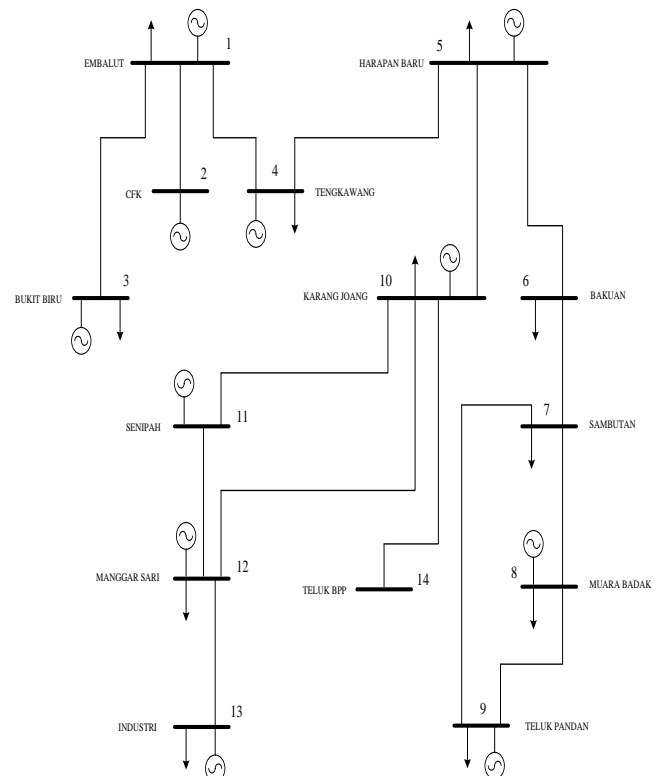
- Ukuran populasi = 24 dan iterasi maksimum = 25.000
- *contraction factor* = 0,729
- Faktor bobot inersia,  $\theta_{max} = 0.9$  dan  $\theta_{min} = 0.4$
- Konstanta akselerasi,  $C_1 = 2,1$  dan  $C_2 = 2.0$

TABEL II  
DATA PEMBANGKITAN DAN BEBAN

No.	Gardu Induk	Suplai		Beban	
		MW	MVar	MW	Mvar
1	Embalut	72.1	7.8	9.7	2.83
2	Pltu CFK	82.6	30.42	0	0
3	Bukit Biru	10.82	4.1	29.7	8.66
4	Tengkawang	4.82	2.33	96.26	27.16
5	Harapan Baru	9.71	3.2	20.51	5.98
6	Bukuan	0	0	12.65	3.69
7	Sambutan	0	0	18.51	5.4
8	Muara Badak	13.3	1.9	13.7	4
9	Teluk Pandan	23.06	7.79	28.68	8.37
10	Karang Joang	32.6	10	24.55	7.16
11	Pltg Senipah	85	21	0	0
12	Manggar Sari	39.9	10.81	44.3	11.9
13	Industri	6.94	3.36	67.76	19.77
14	Teluk Balikpapan	0	0	0	0
Total		380.85	102.71	366.33	104.92

Berdasarkan hasil simulasi dengan menggunakan aplikasi MATLAB diperoleh hasil pembangkitan sebagai berikut :

1. Pembangkit 1 (Embalut) : 127,8783 MW
2. Pembangkit 2 (CFK) : 50,0000 MW
3. Pembangkit 3 (Bukit Biru) : 17,6818 MW
4. Pembangkit 4 (Tengkawang) : 10,0000 MW
5. Pembangkit 5 (Harapan Baru) : 5,0000 MW
6. Pembangkit 6 (Muara Badak) : 5,0000 MW



Gbr. 2 Diagram *single line* sistem kelistrikan Mahakam.

- 7. Pembangkit 7 (Teluk Pandan) : 40,000 MW
- 8. Pembangkit 8 (Karang Joang) : 40,1101 MW
- 9. Pembangkit 9 (Senipah) : 50,0000 MW
- 10. Pembangkit 10 (Manggar Sari) : 20,0000 MW
- 11. Pembangkit 11 (Industri) : 5,0000 MW

Pada akhir simulasi diperoleh biaya pembangkitan sebesar **370,67 MW** dengan rugi-rugi daya sebesar **4,33 MW** dan biaya pembangkitan sebesar **1.029,0244 \$/jam**.

VI. KESIMPULAN

Pengoptimalan pembangkitan ekonomis dengan menggunakan metode *particle swarm optimization* (PSO) pada sistem kelistrikan Mahakam 150 kV dapat dijadikan sebagai alternatif metode pengoptimalan dibandingkan dengan menggunakan metode konvensional yang telah digunakan PLN. Hal ini telah dibuktikan pada sistem uji IEEE 26-bus dengan berhasil mereduksi biaya bahan bakar sebesar **1.066.7 \$/jam** atau **6,4%** pada setiap jam operasi. Nilai ini akan semakin kelihatan pengaruhnya jika digunakan dalam jangka waktu yang panjang dan berlangsung secara terus menerus.

VII. PENELITIAN SELANJUTNYA

Paper ini lebih fokus untuk memodelkan dan memberikan gambaran alternatif pengoptimalan yang dapat digunakan pada sistem kelistrikan Mahakam. Penelitian lebih lanjut dengan menggunakan data sistem real yang lebih komprehensif dan metode pengoptimalan yang lebih baik, seperti pengembangan dari metode PSO mutakhir ataupun metode heuristik terbaik lainnya masih diperlukan untuk memberikan hasil yang lebih baik.

TABEL III

DATA TRANSMISI KELISTRIKAN MAHAKAM 150 KV

No	Antar Gardu Induk		Parameter Sauran Transmisi (pu)		
	Dari	Ke	R	X	½ B
1	Embalut	Tengkawang	0.000396675	0.00133325	0.001550
2	Embalut	CFK	0.005421100	0.01822225	0.021187
3	Embalut	Bukit Biru	0.002106675	0.01018225	0.023511
4	Tengkawang	Harapan Baru	0.001106675	0.00534900	0.012351
5	Harapan Baru	Bukuan	0.003173325	0.01066675	0.012402
6	Harapan Baru	Karang Joang	0.010053325	0.04859100	0.112197
7	Bukuan	Sambutan	0.003840000	0.01856000	0.010714
8	Sambutan	Teluk Pandan	0.008160000	0.03944000	0.022767
9	Sambutan	MuaraBadak	0.037280000	0.10942700	0.063167
10	Muara Badak	Teluk Pandan	0.014800000	0.07153300	0.041293
11	Karang Joang	PLTG Senipah	0.013867000	0.06702200	0.038689
12	Karang Joang	Manggar Sari	0.003573000	0.01727100	0.009970
13	PLTG Senipah	Manggar Sari	0.012027000	0.05812900	0.033555
14	Manggar Sari	Industri	0.056062500	0.01884450	0.021911

REFERENSI

- [1] Song, Y. Hua, “*Modern Optimization Techniques in Power System*”, International Series on: Microprocessor-based and Intelligent System Engineering, Vol. 20, Kluwer Academic Publisher, USA, 1999.
- [2] Saadat, H. “*Power system analysis*”. Mcraw-Hill, 1999. Pp. 189-247.
- [3] Allen, J. Wood, A.J. dan Wollenberg, B.F. 1996. “Electric power system applications of optimization”. John Wiley & Sons, Inc. Pp. 514-518.
- [4] Z.X. Liang, J. D. Glover. “A Zoom Feature For a Dynamic Programming Solution to Economic Dispatch Including Transmission Losses”. IEEE Transactions on Power Systems, 1992; page 544-550.
- [5] S. N. Keshmiri and W. Gao, “Multi-objective stochastic economic dispatch” *North Am. Power Symp. 2010, NAPS 2010*, 2010.
- [6] M. D. Ilić and J. H. Lang, “The complexity of voltage and reactive power dispatch in control centers: From analysis to on-line decision making” *IEEE Power Energy Soc. Gen. Meet.*, pp. 1–8, 2011.
- [7] M. Tofighi, R. Maddahi, and M. Sadeqzadeh, “An Improved Genetic Algorithm Based Economic Dispatch With N onsmooth Fuel Cost Function” no. July, 2011.
- [8] Y. Chen, “A Hybrid Intelligent Optimization Algorithm for Dynamic Economic Dispatch with Valve-point Effects” no. 50937002, 2012.
- [9] R. Goncalves, C. Almeida, M. Goldberg, E. Goldberg, and M. Delgado, “Improved cultural immune systems to solve the economic load dispatch problems” *2013 IEEE Congr. Evol. Comput. CEC 2013*, pp. 621–628, 2013.
- [10] Sandeepdhar, D. S., “Differential Search Algorithm for different Economic Dispatch Problem” no. 3, 2015.
- [11] M. Moradi and A. Badri, “Non-Convex Constrained Economic Dispatch with Valve Point Loading Effect Using a Grey Wolf Optimizer Algorithm” 2016.
- [12] M. Mahajan and S. Vadhera, “Economic Load Dispatch of Different Bus Systems using Particle Swarm Optimization” no. 1, pp. 1–6, 2012.
- [13] J. Guo, C. Jin, W. Liu, and W. Zhou, “An effective particle swarm optimization algorithm with social weight in solving economic dispatch problem considering network losses” *Proc. - 2012 3rd Glob. Congr. Intell. Syst. GCIS 2012*, no. 3, pp. 80–83, 2012.
- [14] A. Jaini, I. Musirin, N. Aminudin, M. M. Othman, and T. K. A. Rahman, “Particle swarm optimization (PSO) technique in economic power dispatch problems” *PEOCO 2010 - 4th Int. Power Eng. Optim. Conf. Progr. Abstr.*, no. June, pp. 308–312, 2010.
- [15] A. Allirani, “Particle Swarm Optimization Scheme for the Solution of Economic Dispatch” no. 1, 2012.
- [16] S. Chakraborty, T. Senjyu, A. Yona, A. Y. Saber, and T. Funabashi, “Solving economic load dispatch problem with valve-point effects using a hybrid quantum mechanics inspired particle swarm optimisation” *IET Gener. Transm. Distrib.*, vol. 5, no. 10, p. 1042, 2011.
- [17] Kennedy, J., dan Eberhart, R., “Particle swarm optimization”, IEEE international conference on neural networks, proceedings, 1995.

- [18] S. S. Rao, *Engineering optimization : theory and practice*, fourth edition. John Wiley & Sons, Inc., 2009.
- [19] Y. Shi, dan R. Eberhart, "A modified particle swarm optimizer," *the 1998 IEEE international conference on evolutionary computation proceedings, IEEE world congress on computational intelligence*, 1998.
- [20] M. Clerc, "The swarm and the queen: towards a deterministic and adaptive particle swarm optimization," *Proc. 1999 Congress on Evolutionary Computation*, Washington, DC, pp. 1951-1957. Piscataway, NJ: IEEE Service Centre, 1999.