

Pengoptimalan Pembebanan Ekonomis dengan Mempertimbangkan *Emission Constraint* menggunakan *Hybrid CPSO*

Trisna Wati¹, Titiek Suheta², Ilmiatul Masfufiah³

^{1st}, ^{2nd}, ^{3rd} Fakultas Teknik Industri, Teknik Elektro Institut Teknologi Adhi Tama Surabaya
Email: trisnaw@itats.ac.id, hita@itats.ac.id, i.masfufiah@itats.ac.id

Abstract— In an electric power system, optimal and economical loading is needed to minimize energy generation costs. Economic loading optimization pays attention to existing constraints, for example emission constraints. To solve the problem, a mathematical method or using artificial intelligence is needed. This study provides a solution to optimize loading using Hybrid Crazy Particle Swarm Optimization (CPSO). Simulation results show that the Hybrid CPSO can optimize economic loading, cheapen generation costs, and balance the amount of emissions issued by the generator. The convergence rate of the Hybrid CPSO in 50 trials is 35.81 seconds while the PSO is 40.98 seconds.

Index Terms— Crazy Particle Swarm Optimization, Emission Constraint, Economic Loading.

Abstrak— Dalam suatu sistem tenaga listrik, untuk memperkecil biaya pembangkitan dibutuhkan pembebanan yang optimal dan ekonomis. Pengoptimalan pembebanan yang ekonomis harus memperhatikan batasan-batasan salah satunya adalah *emission constraint*. Untuk menyelesaikan masalah tersebut, perlu adanya suatu metode baik secara matematis maupun menggunakan kecerdasan buatan. Oleh sebab itu dalam penelitian ini memberikan solusi untuk mengoptimalkan pembebanan menggunakan *Hybrid Crazy Particle Swarm Optimization (CPSO)*. Dari hasil simulasi memperlihatkan bahwa *Hybrid CPSO* dapat mengoptimalkan pembebanan ekonomis, biaya pembangkitan murah dan jumlah emisi yang dikeluarkan pembangkit seimbang. Tingkat konvergensi *Hybrid CPSO* dalam 50 kali percobaan sebesar 35,81 detik sedangkan *PSO* 40,98 detik.

Kata Kunci— Crazy Particle Swarm Optimization, Emission Constraint, Pembebanan Ekonomis

I. PENDAHULUAN

Setiap tahun kebutuhan konsumen akan energi listrik semakin bertambah, sehingga industri tenaga listrik berupaya meningkatkan produksi listrik untuk memenuhi kebutuhan konsumen. Dalam meningkatkan produksi terdapat hal-hal yang perlu dipertimbangkan seperti kebutuhan akan bahan bakar yang tentunya akan bertambah.

Pada umumnya pembangkit energi listrik baik di Dunia maupun di Indonesia menggunakan bahan bakar fosil. Proses dari pembangkit energi listrik yang menggunakan bahan bakar fosil menimbulkan emisi gas buang berupa CO₂, NO₂, dan SO_x, yang dapat menimbulkan kerusakan lingkungan sehingga merugikan manusia, hewan dan tumbuhan. Sehingga dalam proses pembangkitan energi listrik perlu memperhatikan biaya

pembangkitan yang minimum dan meminimalkan emisi gas buang.

Dalam menyelesaikan masalah pengoptimalan pembebanan dengan mempertimbangkan emisi dapat diselesaikan secara matematis menggunakan *Quadratic Programming (QP)* [1] dalam hal ini pengoptimalan beban dilakukan secara dinamik pada system standart IEEE, dengan mengelompokkan data konsumen dari konsumen tingkat rendah, menengah, dan atas. Biaya yang di hasilkan memiliki nominal yang relatif sama minimum dengan ketiga jenis beban yang berbeda. Namun penyelesaian secara matematis memerlukan waktu yang cukup lama jika di terapkan pada sistem yang lebih besar. Solusi yang ditawarkan selain menggunakan perhitungan secara matematis adalah menggunakan *artificial intelegent*. Banyak peneliti yang sedang mengembangkan berbagai macam *artificial intelegent* untuk menyelesaikan berbagai macam masalah pengoptimalan beban. Tabu Search Algorithm (TSA) digunakan untuk meminimalkan biaya pembangkitan dengan mempertimbangkan *valve point effect* dan *emission constraint* [3] dalam proses iterasi TSA tidak dapat menggantikan nilai iterasi sebelumnya, sehingga dalam pencarian nilai minimum akan selalu *looping* untuk mencari di sekitar local optimum dan sekitarnya. Pengoptimalan pembebanan dengan mengkombinasikan panas dan daya dengan mempertimbangkan emisi menggunakan Construction Particle Swarm Optimization (CPSO) [2]. Dalam hal ini peminimalan biaya dan emisi dengan tetap menjaga panas dan permintaan daya, namun tidak mempertimbangkan *non convex*. CPSO memiliki waktu yang cepat dalam menentukan nilai optimum, dibandingkan dengan Particle Swarm Optimitation (PSO). Untuk mempercepat waktu konvergensi dan meminimalkan biaya pembangkitan terdapat metode lain yaitu menggabungkan perhitungan matematis dengan *artificial intelligence*. Hybrid Chaotic Particle Swarm Optimitation (CPSO) dan Sequential Quadratic Programming (SQP) [4] digunakan untuk menyelesaikan peminimalan pembebanan dengan *valve point effect* dimana CPSO digunakan untuk menyelesaikan permasalahan utama kemudian disempurnakan lagi menggunakan SQP. Metode CPSO-SQP terbukti efektif untuk menghasilkan biaya yang minimum, dan tingkat konvergensinya lebih cepat di bandingkan dengan tanpa menggunakan SQP. Dengan keberhasilan Hybrid CPSO-SQP banyak peneliti yang tertarik untuk menggunakan

hybrid seperti hybrid Evolutionary Programming (EP), Partical Swarm Optimisation (PSO), dan SQP [5] untuk menyelesaikan masalah pembebanan minimal secara dinamik dengan mempertimbangkan *non-convex*. Metode yang digunakan adalah pengoptimalan secara dua tahap. Tahap yang pertama adalah untuk mencari populasi awal menggunakan EP dan PSO untuk mencari solusi secara acak. Pada tahap kedua SQP akan di panggil ketika terdapat solusi yang tidak layak pada tahap pertama. Pengoptimalan secara hybrid ini menghasilkan kinerja yang lebih baik untuk mencari solusi yang kompleks.

Dalam paper ini menggunakan CPSO dimana untuk menentukan populasi awal menggunakan SQP kemudian hasil dari populasi awal yang telah dioptimalkan oleh SQP digunakan untuk menentukan populasi awal dari CPSO. Populasi awal telah ditentukan terlebih dahulu agar hasil yang dicari tidak terlalu acak. System yang digunakan adalah 30 bus dengan pembebanan dilakukan secara dinamik selama 24 jam. Tujuan dari oenelitian ini adalah mengoptimalkan biaya pembangkitan dengan mempertimbangkan emisi dan *valve point effect*. Struktur penulisan paper ini terdiri dari: bab II menjelaskan formulasi matematis emisi dan *valve point effect* bab III menjelaskan secara singkat tentang *Sequential Quadratic Programming* dan *Crazy Particle Swarm Optimisation*. Bab IV metodologi, bab V hasil dan pembahasan dan bab VI adalah kesimpulan.

II. PEMBEBANAN EKONOMIS DENGAN BATASAN EMISI DAN *NON-CONVEX*

A. Persamaan Valve Point Effect

Fungsi biaya tiap pembangkit dengan *valve point effect* dapat di formulasikan sebagai berikut:

$$F_i(P_{G_i}) = a_i P_{G_i}^2 + b_i P_{G_i} + c_i + \left| g_i \sin \left(m_i (P_{i,min} - P_i) \right) \right| \quad (1)$$

Dimana $F_i(P_{G_i})$ adalah total biaya pembangkit, a_i, b_i, c_i koefisien biaya sedangkan g_i, m_i adalah koefisien dari *valve point effect*.

Fungsi biaya diminimalkan dengan memperhatikan batasan-batasan (*constraints*), sebagaimana di tunjukkan pada persamaan (2) dan (3).

$$\sum_{i=1}^N P_{G_i} = P_D + P_L \quad (2)$$

$$P_{i,min} \leq P_i \leq P_{i,max} \quad (3)$$

Dimana $\sum P_{G_i}$ total system pembangkit yang diperoleh dari total beban P_D di tambah dengan rugi daya P_L .

B. Persamaan Emisi

Persamaan emisi dapat dituliskan dalam bentuk matematis pada persamaan (4).

$$E_i(P_{G_i}) = d_i P_{G_i}^2 + e_i P_{G_i} + f_i \quad (4)$$

Dimana $d_i, e_i,$ dan f_i adalah koefisien emisi tiap unit pembangkit. Sedangkan persamaan biaya emisi constraint dapat dirumuskan pada persamaan (5).

$$F_i(P_{G_i}) = (a_i P_{G_i}^2 + b_i P_{G_i} + c_i) + h_i (d_i P_{G_i}^2 + e_i P_{G_i} + f_i) \quad (5)$$

Dimana:

$$h_i = F_i max / E_i max \quad (6)$$

$$F_i max = a_i P_{G_i}^2 max + b_i P_{G_i} max + c_i \quad (7)$$

$$E_i max = d_i P_{G_i}^2 max + e_i P_{G_i} max + f_i \quad (8)$$

III. QUADRATIC PROGRAMMING DAN PARTICLE SWARM OPTIMIZATION

A. Sequential Quadratic Programming

Sequential Quadratic Programming (SQP) adalah metode konvensional untuk menyelesaikan fungsi objektif yang linier. SQP sangat efektif untuk menyelesaikan masalah secara matematis [6]. QP dapat dimodelkan secara matematis dengan persamaan sebagai berikut:

$$\text{Min } f(x) \quad (9)$$

$$x \in R^n \quad (10)$$

$$\begin{aligned} h(x) &= c \\ g(x) &\leq d \end{aligned} \quad (11)$$

Sequential Quadratic Programming (SQP) mempunyai persamaan *equality constraint* dan *inequality constraint* yang di tunjukkan pada persamaan (11).

B. Particle Swarm Optimization

Particle Swarm Optimization (PSO) adalah salah satu *artificial intelligence* yang mengadaptasi dari perilaku sekumpulan burung [7]. PSO memiliki beberapa parameter yang harus di selesaikan, parameter tersebut terdiri dari *fitness function* yang berfungsi untuk mencari posisi dan mencocokkan *fitness value*. posisi dengan *fitness value* minimum disebut *global best* (G_{best}). Setiap agen di simpan untuk mencari nilai kecocokan minimum, atau disebut juga *local best* (P_{best}). Masing-masing agen seperti posisi dan *velocity* di inialisasi secara acak. Kecepatan dalam setiap n-dimensi dapat di modelkan secara matematis pada persamaan (12).

$$\begin{aligned} v_j^{t+1} &= w v_j^t + c_1 \text{rand}(P_{bestj} - s_j^t) + \\ & c_2 \text{rand}(G_{best} - s_j^t) \end{aligned} \quad (12)$$

Dimana v_j^t adalah kecepatan agen j pada iterasi t, c_1, c_2 , faktor pembobot, dan memiliki nilai acak Antara 0 dan 1; s_j^t , posisi agen j pada iterasi P_{bestj} , P_{best} adalah agen j; G_{best} , w, adalah inersia pembobot. Inersia pembobot dapat di hitung seperti persamaan (13):

$$w = w_{max} - (w_{max} - w_{min}) \times \text{iter} / \text{iter}_{max} \quad (13)$$

Dimana, w_{max} , inisial pembobot; w_{min} , final pembobot; iter_{max} , nilai maksimum iterasi.

C. Crazy Particle Swarm Optimization

Crazy Particle Swarm Optimization (CPSO) merupakan modifikasi dari PSO. langkah-langkah dalam

menggunakan CPSO sama dengan PSO namun dalam kecepatan dan posisi di modifikasi sedemikian rupa sehingga dapat mempercepat iterasi. Modifikasi kecepatan dan posisi dapat di tuliskan dalam persamaan (14).

$$v_j^{t+1} = wv_j^t + c_1 rand_1(P_{bestj} - s_j^t) + c_2 rand_2(G_{best} - s_j^t)$$

$$s_j^t = s_j + v_j^{t+1} \tag{14}$$

IV. METODOLOGI PENELITIAN

Dalam menyelesaikan pembebanan ekonomis dengan mempertimbangkan emisi menggunakan hybrid SQP-CPSO menggunakan langkah-langkah sebagai berikut:

a) *Langkah 1:* Dengan menggunakan SQP masukkan Objective function economic dispatch pada persamaan (15) tanpa menggunakan emisi dan valve point effect.

$$F_i(P_{G_i}) = a_i P_{G_i}^2 + b_i P_{G_i} + c_i \tag{15}$$

b) *Langkah 2:* setelah mendapatkan biaya yang minimum dari SQP maka langkah selanjutnya adalah memasukkan nilai output SQP ke dalam inialisasi CPSO

c) *Langkah 3:* inialisasi populasi CPSO partikel P dengan ouput SQP, kemudian evaluasi fungsi fitness dengan memassukkan persamaan (1) dan (5)

d) *Langkah 4:* If Fitness (X) > fitness (gbest)
 $X = gbest$
 If Fitness (X) > fitness (pbest)
 $X = pbest$

e) *Langlah 5:* update kecepatan (v) dan update lokasi

f) *Langkah 6:* update inisial pembobot, persamaan (13)

g) *Langkah 7:* cek untuk nilai kriteria, dengan parameter terbaik = gbest.

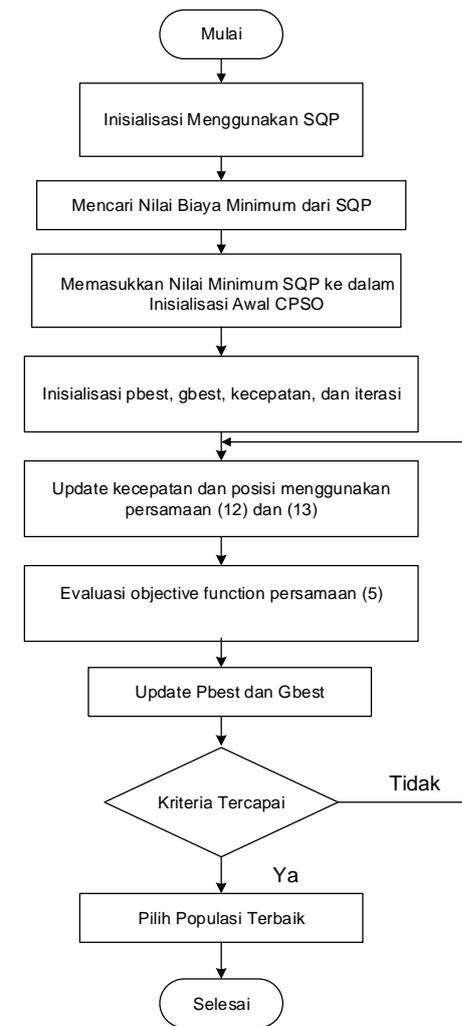
Flowchart penyelesaian SQP-CPSO apat dilihat pada Gambar 1.

V. HASIL DAN PEMBAHASAN

Hybrid QP-PSO digunakan untuk menyelesaikan masalah pembebanan ekonomis dengan mempertimbangkan valve point effect dan emisi. Sistem yang digunakan dalam paper ini adalah 3 unit pembangkit, 6 unit pembangkit dan 30 unit pembangkit. Data koefisien biaya masing-masing unit pembangkit di sajikan pada Tabel I, Tabel II, dan Tabel 3

TABEL I
 KOEFISIEN BIAYA DAN KOEFISIEN EMISI PADA TIGA UNIT PEMBANGKIT

G	a _i	b _i	c _i	d _i	e _i	f _i	P _{min}	P _{max}
1	0.005	2.45	105	0.0126	-1.35	22.983	20	200
2	0.005	3.51	44.1	0.01375	-1.24	137.370	15	150
3	0.005	3.89	40.6	0.00765	-0.81	363.704	18	180



Gambar 1. Flowchart Penyelesaian SQP-PSO

TABEL II
 KOEFISIEN BIAYA DAN KOEFISIEN EMISI PADA ENAM UNIT PEMBANGKIT

G	a _i	b _i	c _i	d _i	e _i	f _i	P _{min}	P _{max}
1	0.152	38.5	756.80	0.0042	0.33	13.86	10	125
2	0.106	46.2	451.32	0.0042	0.33	13.86	10	150
3	0.028	40.4	1050.0	0.0068	-0.54	40.26	35	225
4	0.035	38.3	1243.53	0.0068	-0.54	40.26	35	210
5	0.021	36.3	1658.57	0.0046	-0.51	42.92	130	325
6	0.018	38.3	1356.66	0.0046	-0.51	42.92	125	315

Dari hasil simulasi yang di lakukan pada masing-masing unit pembangkit, dengan 50 kali percobaan ditunjukkan pada Tabel IV, Tabel V, dan Tabel VI. Tabel IV menunjukkan hasil Biaya dan total emisi pada tiga pembangkit. Biaya yang diperoleh dengan menggunakan Hybrid CPSO lebih murah di bandingkan dengan PSO, demikian juga dengan total emisi lebih murah menggunakan hybrid CPSO dibandingkan dengan PSO. Grafik konvergensi biaya enam unit pembangkit dapat ditunjukkan pada Gambar 1.

TABEL III
KOEFSIEN BIAYA DAN KOEFISIEN VALVE POINT EFFECT PADA TIGA
PULUH UNIT PEMBANGKIT

a_i	b_i	c_i	g_i	m_i	P_{min}	P_{max}
550	8.1	0.00028	300	0.035	0	550
309	8.1	0.00056	200	0.042	0	360
307	8.1	0.00056	200	0.042	0	360
240	7.74	0.00324	150	0.063	60	200
240	7.74	0.00324	150	0.063	60	200
240	7.74	0.00324	150	0.063	60	200
240	7.74	0.00324	150	0.063	60	200
240	7.74	0.00324	150	0.063	60	200
240	7.74	0.00324	150	0.063	60	200
240	7.74	0.00324	150	0.063	60	200
126	8.6	0.00284	100	0.084	40	120
126	8.6	0.00284	100	0.084	40	120
126	8.6	0.00284	100	0.084	55	120
126	8.6	0.00284	100	0.084	55	120

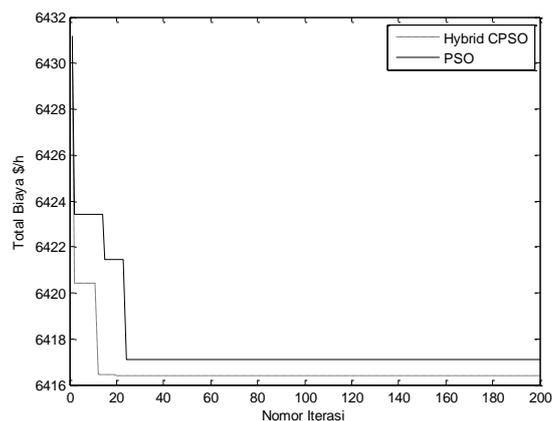
Waktu yang dibutuhkan hybrid CPSO untuk konvergen sebesar 34,2 detik sedangkan PSO membutuhkan waktu 40,45 detik untuk mencapai konvergen. Tabel V menunjukkan hasil biaya dan total emisi enam unit pembangkit biaya dan emisi lebih murah menggunakan hybrid CPSO dibandingkan dengan PSO. Waktu yang dibutuhkan hybrid CPSO untuk konvergen. sebesar 35,81 detik sedangkan PSO 40,98 detik.

Tabel VI menunjukkan biaya pembangkitan dengan mempertimbangkan valve point effect. Biaya pembangkitan yang dihasilkan oleh hybrid CPSO lebih murah dibandingkan dengan PSO. Dengan waktu konvergensi yang dibutuhkan oleh hybrid PSO sebesar 35,72 detik dan PSO 41,21 detik. Grafik konvergensi tiga unit pembangkit dapat dilihat pada Gambar 2, Gambar 3, dan Gambar 4

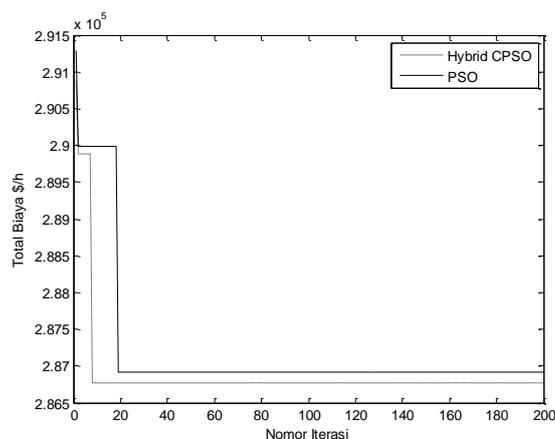
VI. KESIMPULAN

Dari hasil simulasi sebanyak 50 kali percobaan dapat disimpulkan bahwa CPSO dapat menyelesaikan permasalahan pengoptimalan pembebanan dengan Biaya total yang dihasilkan oleh pembangkit menggunakan CPSO sebesar 24309,0923 \$/hr lebih murah dibandingkan dengan PSO, dengan total biaya pembangkit sebesar 24318,3942 \$/hr. Sedangkan total emisi menggunakan CPSO pada enam unit pembangkit sebesar 3942,124 kg/hr.

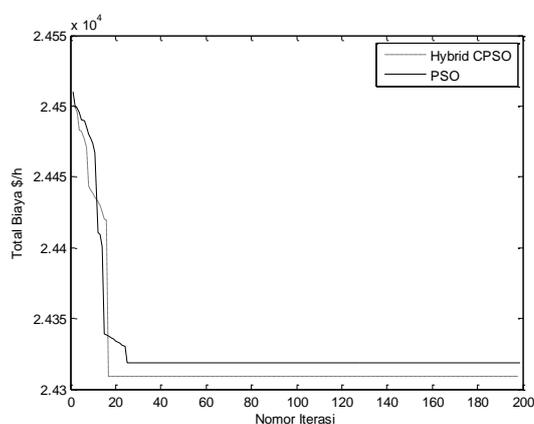
Sedangkan menggunakan PSO sebesar 4084,423 kg/hr. Total emisi pada tiga unit pembangkit menggunakan CPSO sebesar 3430,17 kg/hr sedangkan total emisi menggunakan PSO sebesar 3448,442. Hybrid CPSO memiliki tingkat konvergensi yang cepat di bandingkan dengan PSO, hal ini dipengaruhi karena biaya di optimalisaiakan terlebih dahulu menggunakan SQP kemudian dari hasil biaya yang optimal di gunakan untuk inialisasi awal CPSO, sehingga hasil yang diperoleh tidak terlalu random.



Gambar 2. Grafik Konvergensi Tiga Unit Pembangkit



Gambar 3. Grafik Konvergensi Enam Unit Pembangkit



Gambar 4. Grafik Konvergensi Tiga Puluh Unit Pembangkit

REFERENSI

- [1] Nnamdi Nwulu, "Emission Constrained Bid based Dynmic Economic Dispatch using Quadratic Programming," International Conference on Energy, Communication, Data and Soft Computing (ICECDS), pp. 213-216, 2017.
- [2] Jyotsna, Himanshu Anand, Preeti Verma and Harinder Sandhu, "Economic Enviromental Dispatch for Combined Head and Power using CPSO," Indian Journal of Science and Technology, vol 10, pp 1-7. April 2017.
- [3] K.Senthil and K. Manikandan, "Economic Thermal Power Dispatch with Emission Constraint and Valve Point Effect Loading usngg Improved Tabu Search Algorithm," International Journal of Computer Application. Volume 3, No 9. Juli 2010.

- [4] Jiejn Cai, Qiong Li, Lixiang Li, Haipeng Peng, and Yixian Yang," Hybrid CPSO-SQP method for Economic Dispatch Considering the Valve-Point Effect," *Energy Conversion and Management* 53, pp 175-181. September 2011.
- [5] S. Titus AND a. Ebenezer Jeyakumar," A Hybrid EP-PSO-SQP Algorithm for Dynamic Economic Dispatch Considering Prohibited Operating Zones," *Electrical Power Components and Systems*, 36:449-467, Januari 2015.
- [6] Trisna Wati, Roni Seto Wibowo and Ontoseno Penangsang,"Hybrid QP-PSO for Solving Economic Dispatch Problem," *International Seminar on Intelligent Technology and Its Application (ISITIA)*. 28-29 Agustus 2017.
- [7] K. Teerth Chaturvedi, Manjaree Pandit, and Laxmi Srivastava," Particle Swarm Optimization with Crazy Particle for Nonconvex economic Dispatch", *Applied Soft Computing* 9, pp 962-969, November 2008.