

## Perbandingan Metode Optimasi Non-Linear *Partical Swarm Optimization* (PSO) Dengan Metode *Interior Point* Untuk Optimasi Daya Pada Turbin Angin Dengan Menentukan Nilai *Optimum Pitch Angle*

Alfian Abdi Prasetyo<sup>1</sup>; Fikri Aufa Rafinda<sup>2</sup>; Herminarto Nugroho<sup>3</sup>

<sup>1, 2, 3</sup> Fakultas Teknologi Industri, Program Studi Teknik Elektro

Universitas Pertamina

<sup>3</sup> herminarto.nugroho@universitaspertamina.ac.id

### ABSTRACT

Wind power plants require wind speed to produce efficiency and output power in the wind turbine. Energy conversion from wind energy into electricity will be maximum when the position of wind turbine is in line with the direction of the wind blowing. The position of the wind turbine is determined by the value of pitch angle. Therefore, in order to obtain optimum electric power, the value of the pitch angle should be optimised. The optimization problem of a wind turbine is to determine the angle of placement of the wind turbine in order to produce the desired optimum power. This research is determining the wind turbine pitch angle to determine the optimum power by comparing two optimization methods, namely *Partical Swarm Optimization* (PSO) and the *Interior Point* optimization method. The data to be obtained is the optimal distance between the turbines and the comparison of the efficiency between the two optimization methods in producing the optimal solution for the problem of placing wind turbines in the wind turbine field. Both PSO and *Interior Point* can results in getting the suitable optimum value of pitch angle from various speed and wind direction simulation.

**Keywords:** Optimum power, *Partical Swarm Optimization*, *Interior Point*

### ABSTRAK

Pembangkit listrik tenaga angin membutuhkan kecepatan angin untuk menghasilkan efisiensi dan daya keluaran pada turbin angin tersebut. Konversi energi angin menjadi energi listrik akan maksimal saat posisi arah turbin angin menghadap arah bertiupnya angin. Posisi arah turbin angin ini ditentukan dengan parameter pitch angle. Oleh karena itu, untuk mendapatkan daya listrik optimal dari sebuah turbin angin, nilai parameter pitch angle yang optimal harus didapatkan. Permasalahan optimisasi dari suatu turbin angin adalah menentukan sudut peletakan turbin angin agar menghasilkan daya optimum yang diinginkan. Artikel ilmiah ini bertujuan untuk menentukan nilai pitch angle wind turbine yang optimal sehingga dapat menghasilkan daya yang optimal pula dengan membandingkan dua metode optimasi yaitu *Partical Swarm Optimization* (PSO) dan metode optimasi *Interior Point*. Data yang akan diperoleh adalah jarak optimal antar turbin dan perbandingan efisiensi antara kedua metode optimasi tersebut dalam menghasilkan solusi optimal untuk masalah penempatan turbin angin di lapangan turbin angin. Kedua metode optimasi tersebut dapat dengan baik menghasilkan nilai pitch angle yang sesuai untuk beberapa simulasi kecepatan dan arah angin yang bervariasi.

**Kata kunci:** Daya optimum, *Partical Swarm Optimization*, *Interior Point*

## 1. PENDAHULUAN

Kebutuhan energi di Indonesia semakin meningkat disebabkan oleh beberapa faktor diantaranya peningkatan jumlah penduduk, peningkatan taraf hidup masyarakat, jumlah kendaraan yang semakin meningkat serta pertumbuhan industri semakin pesat sehingga menyebabkan konsumsi energi yang meningkat. Penggunaan energi baru terbarukan sebagai energi alternatif sudah merupakan suatu keharusan karena kebutuhan konsumsi energi yang meningkat setiap tahun berbanding terbalik dengan produksi energi fosil yang semakin menurun. Hal ini dapat memicu ketahanan energi dimasa yang akan datang. Sehingga perlu dilakukan penganeekaragaman penggunaan energi dalam menyelesaikan permasalahan energi.

Salah satu sumber energi baru terbarukan yang memiliki nilai efisiensi yang tinggi yaitu energi angin. Pembangkit listrik tenaga angin ini biasa disebut dengan turbin angin dengan menggunakan bantuan kecepatan angin yang berhembus untuk memutar turbin generator. Besarnya kecepatan angin yang melewati turbin akan sangat mempengaruhi listrik yang dihasilkan oleh pembangkit tersebut. Penataan peletakan turbin angin pada bidang turbin angin harus diperhatikan agar menghasilkan listrik yang lebih efisien [1]–[3]. Untuk mengetahui posisi penghematan turbin yang paling optimal digunakan metode optimasi agar kecepatan angin dari turbin angin dapat dimaksimalkan walaupun sebelumnya angin telah melewati turbin lainnya. Parameter yang dioptimalkan pada penelitian ini adalah *pitch angle* dari sebuah turbin angin [4], [5].

Pada penelitian ini membandingkan 2 metode optimasi yaitu *Partical Swarm Optimization* (PSO) dan *Interior Point* [6], [7] dalam menentukan daya optimum pada *pitch angle wind turbine*. Tujuan utama dalam mengatur *pitch angle wind turbine* adalah untuk mengatur optimasi daya keluaran dari turbin angin, sebagai proteksi terhadap beban berlebih pada struktur turbin serta berperan sebagai pencegahan daya mekanik yang dihasilkan saat kecepatan angin diatas kecepatan normal [8].

Algoritma *Partical Swarm Optimization* (PSO) pertama kali diperkenalkan pada tahun 1995 oleh Dr. Eberhart dan rekannya Dr. Kenedy. PSO didasarkan pada bentuk imitasi proses populasi hewan yang mencari sumber makanan seperti pada populasi ikan dan burung. Teknik optimasi ini adalah sebuah komputasi evolusioner yaitu pemecahan algoritmanya diawali pada sebuah populasi yang random atau disebut partikel [9]. Aplikasi PSO ada berbagai macam, diantaranya: optimasi posisi robot [10]–[12][13], dan juga untuk optimasi Optical Ring Resonator [14], [15].

Setiap partikel bergerak dalam ruang tertentu dan mengingat posisi terbaik yang pernah dilalui atau ditemukan terhadap sumber makanan atau nilai fungsi objektif. Setiap partikel menyampaikan informasi atau posisi bagusnya kepada partikel yang lain dan menyesuaikan posisi dan kecepatan masing-masing berdasarkan informasi yang diterima mengenai posisi yang bagus tersebut. Sebagai contoh, misalnya perilaku burung-burung dalam kawanan burung. Meskipun setiap burung mempunyai keterbatasan dalam hal kecerdasan, biasanya ia akan mengikuti kebiasaan seperti berikut:

1. Seekor burung tidak berada terlalu dekat dengan burung yang lain
2. Burung tersebut akan mengarahkan terbangnya ke arah rata-rata keseluruhan burung
3. Akan memposisikan diri dengan rata-rata posisi burung yang lain dengan menjaga sehingga jarak antar burung dalam kawanan itu tidak terlalu jauh

Dengan demikian perilaku kawanan burung akan didasarkan pada kombinasi dari 3 faktor simpel berikut, Kohesi terbang bersama, separasi jangan terlalu dekat, dan penyesuaian (*alignment*) mengikutirah bersama. Jadi PSO dikembangkan dengan berdasarkan pada model berikut:

1. Ketika seekor burung mendekati target atau makanan (atau bisa minimum atau maximum suatu fungsi tujuan) secara cepat mengirim informasi kepada burungburung yang lain dalam kawanan tertentu.
2. Burung yang lain akan mengikuti arah menuju ke makanan tetapi tidak secara langsung
3. Ada komponen yang tergantung pada pikiran setiap burung, yaitu memorinya tentang apa yang sudah dilewati pada waktu sebelumnya.

Model ini akan disimulasikan dalam ruang dengan dimensi tertentu dengan sejumlah iterasi sehingga di setiap iterasi, posisi partikel akan semakin mengarah ke target yang dituju (minimasi atau maksimasi fungsi). Ini dilakukan hingga maksimum iterasi dicapai atau bisa juga digunakan kriteria penghentian yang lain [13], [16], [17].

## 2. METODE PENELITIAN

Pada penelitian ini metode optimasi yang diterapkan untuk mengoptimalkan daya yang dihasilkan oleh turbin angin. pada daya optimum turbin angin. Tujuan utama penelitian ini untuk menemukan *pitch angle* yang menghasilkan daya maksimum dari turbin angin. Persamaan tenaga angin dapat diketahui sebagai berikut:

$$P = \frac{1}{2} \rho A V^3 \quad (1)$$

dimana  $\rho$  adalah densitas udara,  $A = \pi R^2$  adalah luas lingkaran yang disapu oleh bilah berjari-jari  $R$  dan  $V$  adalah kecepatan angin.

Turbin angin mengubah energi angin menjadi energi listrik dengan efisiensi maksimum ideal 59%.

Tenaga yang dihasilkan oleh turbin angin dirumuskan sebagai berikut:

$$P_g = \frac{1}{2} \rho A C_p(\lambda, \beta) V^3 \quad (2)$$

dimana  $C_p(\lambda, \beta)$  adalah koefisien daya sebagai fungsi rasio kecepatan ujung  $\lambda$  dan sudut pitch blade  $\beta$ . Ukuran koefisien daya ini seberapa optimal turbin angin dapat mengubah energi angin menjadi energi listrik. Rumus koefisien daya adalah sebagai berikut:

$$C_p = 0.22 \left( \frac{116}{x} - 0.48\beta - 5 \right) e^{-\frac{12.5}{x}} \quad (3)$$

$$\frac{1}{x} = \frac{1}{\lambda - 0.08\beta} - \frac{0.035}{1 + \beta^3} \quad (4)$$

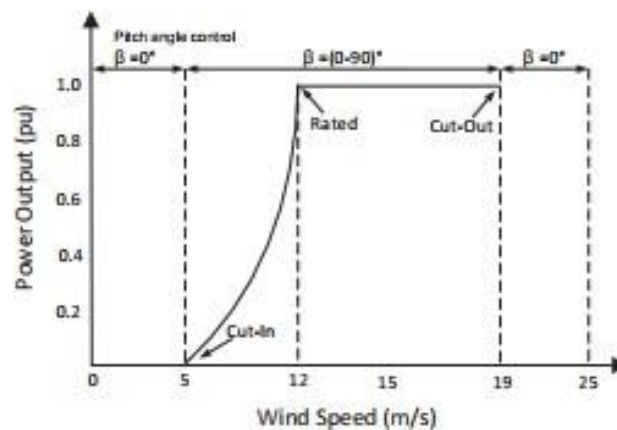
$$\lambda = \frac{\omega R}{V} \quad (5)$$

Tabel 1 berikut merupakan parameter disertai dengan nilai masing-masing parameter yang digunakan pada persamaan (1)-(5) \*diatas:

**Tabel 1.** Nilai parameter yang digunakan pada penelitian ini

Simbol	Parameter	Nilai	Satuan
$R$	Radius Rotor	38	M
$\omega$	Kecepatan rating rotor	2.273	Rad/s
$\rho$	Densitas udara	1.205	Kg/m <sup>3</sup>
$V$	Kecepatan rating angin	12	m/s
$\beta$	<i>Pitch angle</i>	0-90	Derajat (°)

Mengontrol *pitch angle* pada turbin angin dengan kecepatan angin yang bervariasi diperoleh data optimasi daya dengan daerah optimasi *pitch angle* dapat dilihat pada Gambar 1 dibawah ini:



**Gambar 1.** Daerah Operasi dari Pitch Angle

Untuk menentukan batasan pada fungsi objektif dapat dilihat pada Gambar 1 pada saat daerah operasi *pitch angle* ( $0^\circ \leq \beta \leq 90^\circ$ ) dan nilai ( $0 \leq C_p \leq 0.59$ ). Sehingga fungsi objektif pada penelitian ini dapat dituliskan sebagai berikut:

$$- \min_{\beta} \left( -0.22 \left( \frac{116}{x} - 0.4\beta - 5 \right) e^{-\frac{12.5}{x}} \right) \quad (6)$$

s.t.

$$0^\circ \leq \beta \leq 90^\circ$$

$$0 \leq C_p \leq 0.59$$

### 3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Pada simulasi kali ini dilakukan dengan metode optimasi *Particle Swarm Optimization* dan *InteriorPoint*. Simulasi ini dilakukan dengan mencari nilai daya keluaran yang paling optimal dengan cara mencari nilai *pitch angle* optimum ( $\beta$ ). Pada kedua metode tersebut dilakukan dengan parameter yang sama dan didapatkan hasil dari pengujiannya pada Tabel 2 dan Tabel 3.

**Tabel 2.** Hasil simulasi dengan menggunakan metode *Particle Swarm Optimization* (9 iterasi terakhir)

Iteration	f-count	Best f(x)	Mean f(x)	Stall Iteration
...	...	...	...	...
40	410	-7.23E+05	-7.23E+05	2
41	420	-7.23E+05	-7.23E+05	3
42	430	-7.23E+05	-7.23E+05	4
43	440	-7.23E+05	-7.23E+05	5
44	450	-7.23E+05	-7.23E+05	6
45	460	-7.23E+05	-7.23E+05	7
46	470	-7.23E+05	-7.23E+05	0
47	480	-7.23E+05	-7.23E+05	1
48	490	-7.23E+05	-7.23E+05	2

**Tabel 3.** Hasil simulasi dengan menggunakan metode *Interior Point*

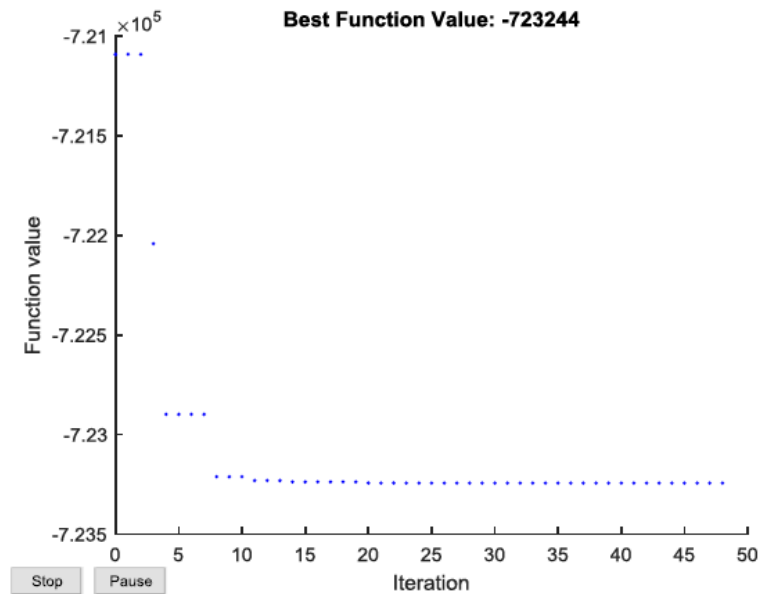
Iteration	f-count	f(x)	Feasibility	First-order Optimality	Norm of Step
0	2	-4.79E+05	0.00E+00	1.50E+04	-
1	5	-6.55E+05	0.00E+00	9.24E+03	4.43E+01
2	7	-7.22E+05	0.00E+00	1.29E+03	1.69E+01
3	9	-7.23E+05	0.00E+00	8.76E+00	2.07E+00
4	11	-7.23E+05	0.00E+00	3.68E-02	1.56E-02
5	13	-7.23E+05	0.00E+00	6.57E-04	6.14E-05
6	15	-7.23E+05	0.00E+00	6.57E-06	8.45E-07

Dari hasil simulasi dengan menggunakan *particle swam optimization* maupun *interior point* didapatkan nilai  $\beta$ . optimum sebesar  $59.542^\circ$ . Kedua metode tersebut mendapatkan nilai *pitch angle* ( $\beta$ ). yang sama. Pada *particle swarm optimization* nilai *pitch angle* yang optimum didapatkan setelah melakukan 48 kali iterasi. Sedangkan pada *interior point* didapatkan nilai *pitch angle* ( $\beta$ ). yang optimum setelah melakukan 6 kali iterasi.

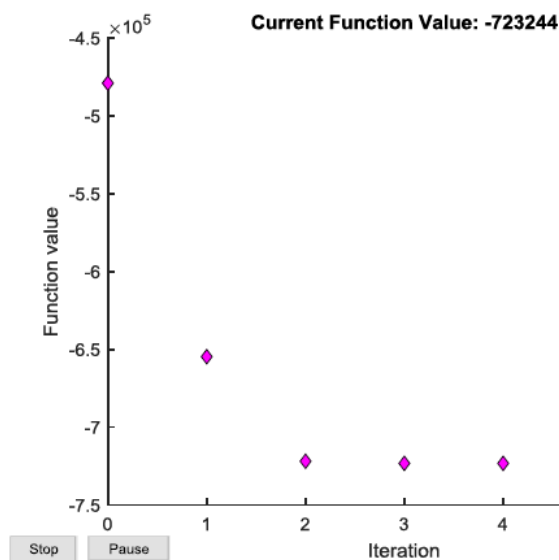
Berdasarkan hasil pengujian dengan menggunakan metode *particle swam optimization* dan metode *interior point* untuk menentukan *pitch angle* ( $\beta$ ). pada *wind turbine*, kedua metode tersebut dapat digunakan untuk mencari nilai *pitch angle* ( $\beta$ ). sehingga daya yang dihasilkan pada *wind turbine* tersebut optimal. *Particle swarm optimization* dan *interior point* menghasilkan nilai *pitch angle* optimum yang sama sehingga kedua metode yang dilakukan simulasi tersebut dinyatakan berhasil.

Dari hasil simulasi berdasarkan iterasinya, *particle swarm optimization* memiliki jumlah iterasi yang jauh lebih banyak dari *interior point* sehingga waktu yang dibutuhkan lebih banyak. Jumlah iterasi yang sedikit oleh *interior point* menjadikan *interior point* lebih efisien dibanding *particle swarm optimization* pada penentuan nilai *pitch angle* optimum di *wind turbine*.

Pada simulasi *particle swarm optimization* dan *interior point* didapatkan plot grafik antara iterasi dan *function value* yang dapat dilihat pada Gambar 2 dan Gambar 3.



Gambar 2. Plot grafik iterasi dan *function value* pada metode *particle swarm optimization*



Gambar 3. Plot grafik iterasi dan *function value* pada metode *interior point*

Pada *particle swarm optimization* terdapat iterasi yang lebih banyak daripada *interior point*. Pada *particle swarm optimization* nilai *function value* mulai menurun mendekati 0 mulai dari iterasi ke-8 dan mulai mendekati ke nilai optimumnya. Sedangkan pada *interior point* nilai *function value* pada iterasi kedua sudah mulai turun mendekati nilai optimumnya. Pada iterasi ketiga dan seterusnya, *interior point* mendapatkan nilai *function value* yang hampir optimal hingga optimal. Semakin kecil nilai *function value* semakin optimal juga metode tersebut.

#### 4. KESIMPULAN

Pada pengujian antara metode *particle swarm optimization* dan *interior point* dilakukan untuk menentukan nilai *pitch angle* yang optimum untuk menghasilkan daya keluaran yang optimal. Keduanya dapat digunakan untuk mencari sudut *pitch angle* yang optimum. Nilai *pitch angle* optimum yang didapat dari kedua metode tersebut bernilai sama yaitu  $59.542^\circ$ . Pada saat pengujian

dengan kedua metode tersebut, didapatkan jumlah iterasi pada masing – masing metode yang sangat berbeda. Pada *particle swarm optimization* memiliki jumlah iterasi sebanyak 48 kali sedangkan pada *interior point* hanya dengan 6 kali iterasi. Dari jumlah iterasi tersebut dapat disimpulkan bahwa *interior point* lebih efisien dibandingkan dengan *particle swarm optimization*.

#### DAFTAR PUSTAKA

- [1] M. X. Song, K. Chen, X. Zhang, and J. Wang, “The lazy greedy algorithm for power optimization of wind turbine positioning on complex terrain,” *Energy*, vol. 80, pp. 567–574, 2015.
- [2] M. Song, K. Chen, and J. Wang, “Three-dimensional wind turbine positioning using Gaussian particle swarm optimization with differential evolution,” *J. Wind Eng. Ind. Aerodyn.*, vol. 172, pp. 317–324, 2018.
- [3] K. Chen, M. X. Song, and X. Zhang, “Binary-real coding genetic algorithm for wind turbine positioning in wind farm,” *J. Renew. Sustain. Energy*, vol. 6, no. 5, p. 53115, 2014.
- [4] Z. Civelek, “Optimization of fuzzy logic (Takagi-Sugeno) blade pitch angle controller in wind turbines by genetic algorithm,” *Eng. Sci. Technol. an Int. J.*, vol. 23, no. 1, pp. 1–9, 2020.
- [5] E. Chavero-Navarrete, M. Trejo-Perea, J.-C. Jáuregui-Correa, R.-V. Carrillo-Serrano, and J.-G. Rios-Moreno, “Pitch angle optimization by intelligent adjusting the gains of a pi controller for small wind turbines in areas with drastic wind speed changes,” *Sustainability*, vol. 11, no. 23, p. 6670, 2019.
- [6] Y. Ye, *Interior point algorithms: theory and analysis*, vol. 44. John Wiley & Sons, 2011.
- [7] A. S. Nemirovski and M. J. Todd, “Interior-point methods for optimization,” *Acta Numer.*, vol. 17, pp. 191–234, 2008.
- [8] R. Dinzi and others, “Optimasi Daya pada Sistem Turbin Angin Menggunakan Kontrol Pitch Angle dengan Fuzzy Logic Control (Aplikasi pada Kecepatan Angin Daerah Nias Utara),” 2017.
- [9] Z. Zuhri, “Algoritma Genetika Metode Komputasi Evolusioner untuk Menyelesaikan Masalah Optimasi,” *Yogyakarta Penerbit Andi*, 2014.
- [10] N. F. Istighfarin, R. A. Rahmastati, and H. Nugroho, “Penerapan Metode Particle Swarm Optimization (PSO) Dan Genetic Algorithm (GA) Pada Sistem Optimasi Visible Light Communication (VLC) Untuk Menentukan Posisi Robot,” *Simetris J. Tek. Mesin, Elektro dan Ilmu Komput.*, vol. 11, no. 1, pp. 279–286, 2020.
- [11] J. Panuturan, P. Rendika, and H. Nugroho, “Mengoptimalkan Posisi Robot Dalam Sistem Visible Light Communication (VLC) Menggunakan Metode Particle Swarm Optimization (PSO),” *J. Teknol.*, vol. 2, no. 2, 2020.
- [12] A. Rachmanto, A. S. Ramadhani, and H. Nugroho, “Penggunaan Metode Particle Swarm Optimization (PSO) Pada Posisi Robot Dalam Sistem Visible Light Communication (VLC),” *J. Teknol.*, vol. 2, no. 2, 2020.
- [13] M. Mansur, T. Prahasto, and F. Farikhin, “Particle Swarm Optimization Untuk Sistem Informasi Penjadwalan Resource Di Perguruan Tinggi,” *JSINBIS (Jurnal Sist. Inf. Bisnis)*, vol. 4, no. 1, pp. 11–19, 2014.
- [14] A. Rauhan, T. H. Alrasyid, and H. Nugroho, “Perbandingan Simulated Annealing dan Particle Swarm Optimization untuk Mencari Waktu Optimal Pada Optical Ring Resonator,” *J. Teknol.*, vol. 2, no. 2, 2020.
- [15] A. Permatasari, D. I. Alif, and H. Nugroho, “Penggunaan Metode Optimasi Particle Swarm

- Optimization (PSO) Untuk Menentukan Nilai Fasa Optik Optimum Pada Optical Ring Resonators,” *J. Teknol.*, vol. 2, no. 2, 2020.
- [16] M. Mitchell, *An introduction to genetic algorithms*. MIT press, 1998.
- [17] M. Kurniawan and N. Suciati, “Modifikasi kombinasi particle swarm optimization dan genetic algorithm untuk permasalahan fungsi non-linier,” *INTEGER J. Inf. Technol.*, vol. 2, no. 2, 2017.