

Optimasi Daya Generator Angin Melalui *Pitch Angle Control* dengan Particle Swarm Optimization dan Genetic Algoritim

Muhammad Akram Saputr¹; Muhammad Fadil Anwar¹; Herminarto Nugroho^{1}*

1. Program Studi Teknik Elektro, Fakultas Teknologi Industri, Universitas Pertamina, DKI Jakarta 12220, Indonesia

**)Email: herminarto.nugroho@universitaspertamina.ac.id*

Received: 12 Juli 2022 | Accepted: 28 Maret 2023 | Published: 25 April 2023

ABSTRACT

In optimizing the power of the wind turbine generator (WTG) due to fluctuating wind speed, the pitch angle control is used on WTG. The pitch angle has a great influence towards the rotational speed change of the WTG. The pitch angle value is in the range of 0-90 degrees. The optimal value of the pitch angle can produce the maximum power output from the wind turbine generator. Because the pitch angle value changes with wind speed, the optimization method is carried out using Particle Swarm Optimization (PSO) method and Genetic Algorithm (GA) optimization method. By using these two methods optimally, the optimal pitch angle will be obtained dependant on changes in wind speed.

Keywords: *wind turbine generator, pitch angle, particle swarm optimization, genetic algorithm*

ABSTRAK

Dalam mengoptimalkan daya dari wind turbine generator (WTG) akibat adanya kecepatan angin yang fluktuatif digunakan pengendalian pitch angle pada WTG. Pitch angle sangat memiliki pengaruh terhadap perubahan kecepatan rotasi dari WTG. Nilai pitch angle ini berada pada kisaran 0-90 derajat. Nilai pitch angle yang optima dapat menghasilkan keluaran daya yang maksimum dari wind turbine generator. Oleh karena nilai pitch angle berubah terhadap kecepatan angin maka untuk mendapatkan nilai pitch angle yang optima dapat dilakukan metode optimasi menggunakan metode optimasi Particle Swarm Optimization (PSO) dan metode optimasi Genetic Algorithm (GA). Dengan menggunakan kedua metode optimasi ini maka akan didapatkan pitch angle yang paling optima terhadap perubahan kecepatan angin.

Kata kunci: *generator turbin angin, pitch angle, particle swarm optimization, genetic algorithm*

1. PENDAHULUAN

Saat ini penggunaan sumber energi baru terbarukan dalam menghasilkan energi khususnya energi listrik sangat meningkat. Hal ini dipengaruhi oleh tingginya kebutuhan manusia dalam penggunaan energi listrik. Salah satu bentuk energi baru terbarukan yang digunakan adalah energi angin. Energi angin akan diubah menjadi energi listrik menggunakan Wind Turbine Generator (WTG). WTG berfungsi untuk mengubah energi mekanik angin menjadi energi listrik [1].

Dalam mengoptimalkan hasil dari WTG, dilakukan pengendalian kecepatan rotasi agar rotasi WTG tetap konstan terhadap sifat angin yang fluktuatif. Umumnya terdapat dua metode pengendalian WTG, yaitu ketika angin berada dibawah nilai rating dan ketika angin berada diatas nilai rating [2]. Ketika berada dibawah nilai rating dapat dilakukan dengan mengendalikan pengontrol kecepatan pada WTG. Sedangkan pada saat nilai kecepatan angin berada diatas nilai rating, maka untuk mengendalikannya yaitu dengan mengubah sudut dari pitch angle sudut WTG. Pitch angle diperlukan untuk mengendalikan kecepatan dari WTG sebab perubahan pitch angle sangat mempengaruhi kecepatan rotasi dari WTG. Perubahan kecil pada pitch angle sangat mempengaruhi keluaran daya yang dihasilkan oleh WTG [3].

Pitch angel memiliki rentang 0-90 derajat. Setiap sudut memiliki pengaruh yang sangat signifikan terhadap kecepatan rotasi WTG [4]. Untuk menemukan nilai sudut yang menghasilkan kecepatan optimal digunakan metode Partical Swarm Optimazation (PSO) [5], dan metode Genetic Algorithm (GA) [6].

Pengontrolan sistem tergantung pada estimasi perolehan kontrol wind turbine serta desain sistem parameter yang tepat. Diperlukan pengendalian sistem yang tepat, optimal, kuat serta memiliki stabilitas tinggi agar dapat mengoptimalkannya [7].

2. METODE/PERANCANGAN PENELITIAN

2.1. Rumusan Permasalahan Optimasi

Dalam proyek ini, akan dilakukan sebuah pengoptimalan daya yang dihasilkan oleh sebuah wind turbine dengan menggunakan metode pengoptimalan menggunakan PSO dan GA. Di proyek ini dilakukan pencarian nilai pitch angle yang paling optimal sehingga dapat menghasilkan daya maksimum dari wind turbine. Adapun persamaan daya pada wind turbine adalah sebagai berikut.

$$P = \frac{1}{2} \rho A V^3 \tag{1}$$

Keterangan:

P : Daya

ρ : densitas udara

$A = \pi R^2$: luas yang dijangkau oleh sudut pitch

V : kecepatan angin

Sebuah wind turbine mengonversikan energi angin ke energi listrik sebesar 59%. Daya yang dihasilkan oleh wind turbine adalah sebagai berikut.

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

Nilai koefisien daya $C_p(\lambda, \beta)$ merupakan fungsi dari kecepatan rotasi λ dan pitch angle dari sudu β . Nilai koefisien daya ini menentukan seberapa besar energi angin dapat dikonversikan ke energi listrik. Persamaan Koefisien daya adalah sebagai berikut.

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

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

$$\lambda = \frac{\omega R}{V} \tag{5}$$

Berdasarkan persamaan tersebut diketahui bahwa nilai pitch angle (β) adalah sebuah koefisien yang sangat menentukan nilai dari koefisien daya (C_p) dalam hal ini nilai (β) akan menjadi design variable dalam metode optimasi ini, dengan koefisien daya (C_p) akan menjadi persamaan cost function dari metode optimasi yang akan dilakukan.

Dalam mengoptimalkan daya dari sebuah Wind turbine, terdapat beberapa syarat yang harus dipenuhi, yaitu diketahui bahwa wind turbine hanya dapat mengonversi energi angin menjadi energi listrik sebesar 59%, dan besar pitch angle dibatasi pada 0-90 derajat. Persyaratan ini kemudian akan menjadi sebuah constrain dalam metode optimasi yang akan digunakan.

Berdasarkan pembahasan diatas, diketahui bahwa persamaan optimasi dari permasalahan diatas adalah sebagai berikut.

$$\max_{\beta} 0.22 \left(\frac{116}{x} - 0.48\beta - 5 \right) e^{-\frac{12.5}{x}} \tag{6}$$

s.t.

$$C_p \leq 59\% ; 0^\circ \leq \beta \leq 90^\circ$$

Dari persamaan 6 diatas akan dilakukan simulasi dengan menggunakan metode optimasi Particle Swarm Optimization (PSO) dan Genetic Algorithm (GA) yang akan dilakukan pada MATLAB. Dari constrain tersebut akan didapatkan nilai C_p yang paling optima, sehingga wind turbine dapat menghasilkan daya yang maksimum. Dalam simulasi ini digunakan parameter sebagai berikut.

Tabel 1. Parameter dan nilai yang digunakan.

Simbol	Parameter	Nilai	Satuan
R	Jari-jari rotor	38	M
ω	Kecepatan rotor	2.273	Rad/s
ρ	Densitas udara	1.205	Kg/m ³
V	Kecepatan angin	8; 10; 12; 17; 20	m/s
β	Pitch angle	0-90	Derajat

2.2. Metode Optimasi

2.2.1. Particle Swarm Optimization (PSO)

Particle swarm optimization disingkat sebagai PSO merupakan sebuah metode optimasi untuk mencari nilai optimal dari sekerumpulan nilai yang bergerak disekitaran ruang pencarian multi-dimensi [8]–[10]. Pada metode Particle Swarm Optimization (PSO) penempatan lokasi yang tepat untuk wind turbine di sesuaikan agar memaksimalkan energi yang dihasilkan. Sehingga pengaturan pitch angel pada wind turbin lebih mudah. Didasarkan pada perilaku kawanan hewan seperti serangga, semut, rayap, lebah atau burung [11]. Algoritma PSO telah terbukti handal dalam menyelesaikan banyak permasalahan optimasi non linear [12]–[15].

Setiap objek atau partikel akan bergerak dalam ruang khusus sesuai dengan pola agar dapat mengingat posisi paling tepat yang telah dilewati terhadap nilai fungsi objektif, yang dalam hal ini adalah sumber makanan. Setiap objek akan memberikan informasi posisi tepatnya kepada seluruh partikel yang lain serta menyesuaikan posisinya dan kecepatan masing-masing dengan berdasarkan informasi yang telah diterima dari partikel. Sebagai contoh, misalnya perilaku burung-burung dalam kawanan burung yang sedang bergerak mencari mangsa berkomunikasi satu sama lain untuk mendapatkan mangsanya.

Algoritma PSO mengikuti perilaku sosial partikel/makhluk hidup tersebut. Partikel atau makhluk hidup yang dimaksud dalam hal ini misalnya, seekor burung dalam kawanan burung. Setiap individu atau partikel berperilaku secara terdistribusi dengan cara menggunakan kecerdasannya (intelligence) sendiri dan juga dipengaruhi perilaku kelompok kolektifnya. Algoritma PSO berfokus pada penyelesaian masalah optimasi dalam pencarian ruang untuk mendapatkan solusi [16].

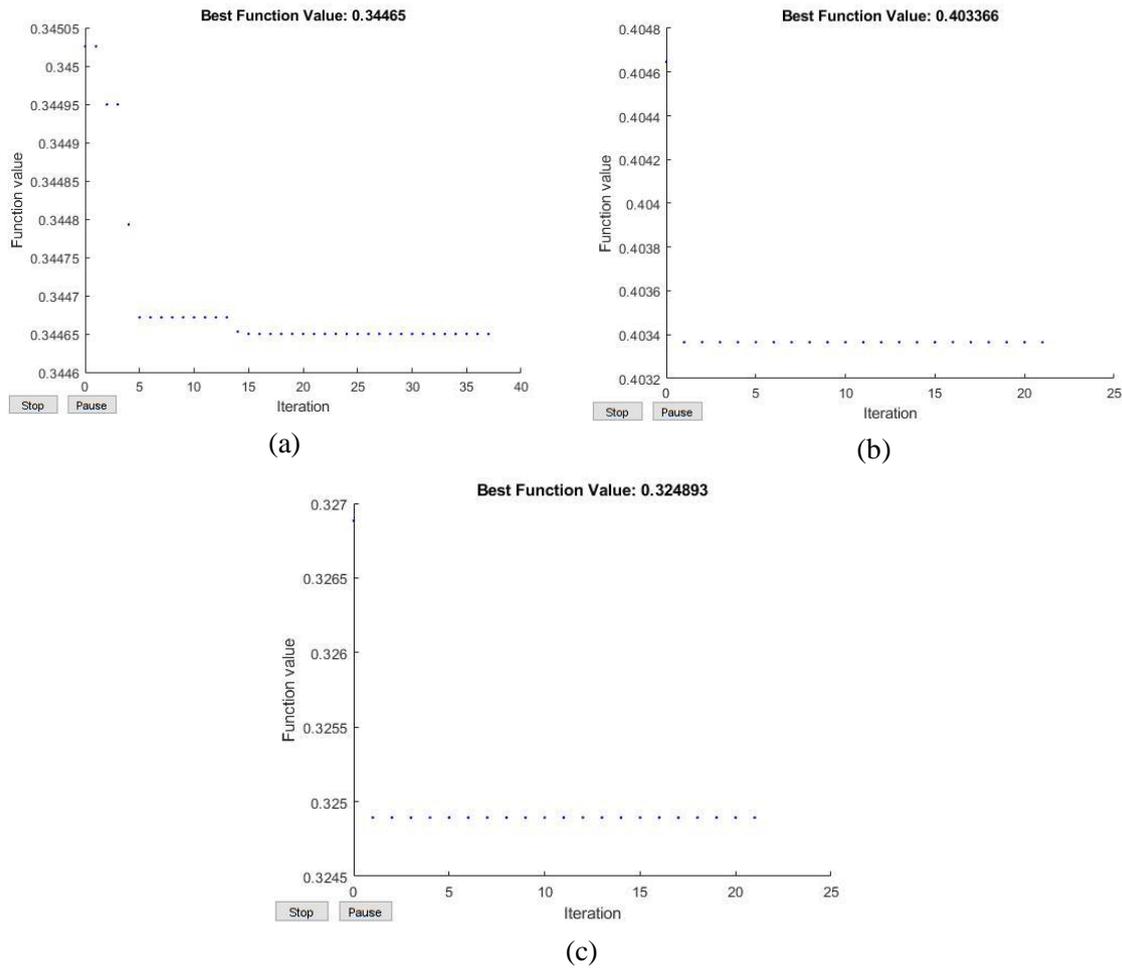
2.2.2. Genetic Algorithm (GA)

Algoritma genetika menggunakan analogi secara langsung dari kebiasaan yang alami yaitu seleksi alam dan genetik [17]–[19]. GA akan menggunakan proses seleksi alamiah yang dikenal dengan proses perubahan dari waktu ke waktu (evolusi) dimana masing-masing individu akan menjabarkan sebuah jalan keluar atau solusi untuk persoalan yang ada. Dalam artian hanya individu-individu yang kuat akan bertahan [20], [21]. Pada algoritma genetika digunakan skema penggantian yang disebut dengan generational replacement [22].

Untuk memeriksa sebuah hasil yang optimal, kita membutuhkan fungsi fitness, yang menjadi gambaran hasil atau jalan keluar dari suatu masalah optimasi. Dalam proses optimasi menggunakan GA ini, individu-individu akan mengalami reproduksi, pindah silang dan mutasi untuk menciptakan keturunan yang bervariasi. Sehingga seiring berubahnya generasi individu, populasi akan mengalami konvergensi dan akan didapatkan sebuah solusi yang optimum, dimana populasi yang dapat bertahan hidup hanya terdiri dari individu-individu yang memiliki fitness function kuat. Genetic Algorithm telah teruji dapat menyelesaikan berbagai permasalahan optimasi non linear kompleks [23].

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Menentukan daya optima dari WTG dapat dilakukan dengan melakukan simulasi persamaan 6 dengan menggunakan PSO dan GA. Dari persamaan tersebut akan ditentukan nilai pitch angle yang paling optima sehingga akan dihasilkan nilai C_p yang optima pula untuk mendapatkan daya maksimum dari WTG. Simulasi dilakukan dengan menggunakan parameter yang terdapat pada tabel 1. Data hasil pengujian menggunakan PSO didapatkan hasil yang ditunjukkan oleh Gambar 1 dan Tabel 2.



Gambar 1. Hasil simulasi optimasi C_p menggunakan Particle Swarm Optimization dengan variasi kecepatan angin (a) 10 m/s (b) 12 m/s (c) 17 m/s

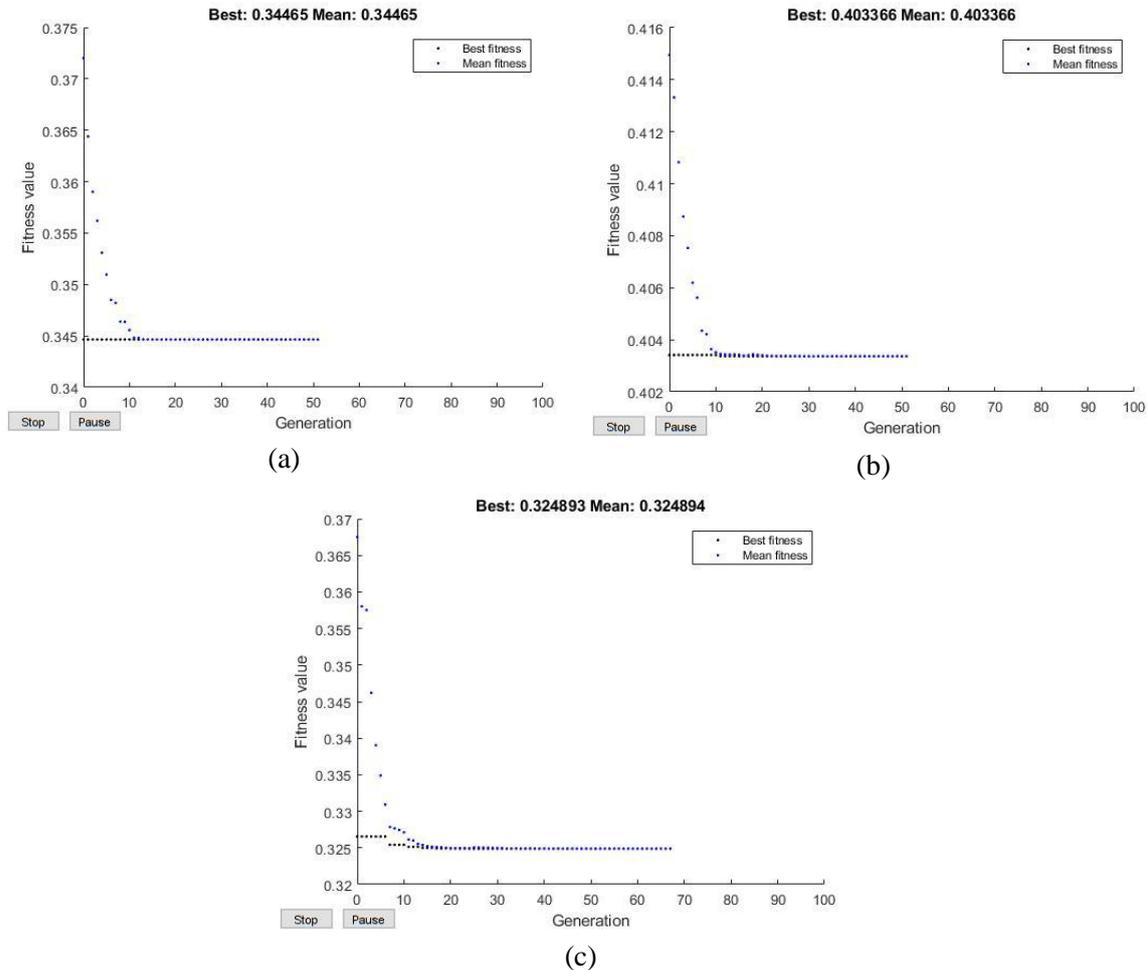
Tabel 2. Data Hasil Pengujian dengan Metode Particle Swarm Optimization

No	V (m/s)	β	C_p	P_g (MW)	Waktu Komputasi (s)
1	8	11.7429	0.1743	0.2439	1.0958
2	10	14.7255	0.3446	0.9420	1.1809
3	12	90	0.4034	1.9051	0.6987
4	17	90	0.3249	4.3628	0.7715
5	20	90	0.2574	5.6273	0.7015
Rata-rata waktu komputasi					0.8897

Dari hasil pengujian yang ditunjukkan oleh gambar 1 diketahui ketika kecepatan angin sebesar 8 m/s, dengan menggunakan metode PSO dalam menentukan C_p yang optima dibutuhkan iterasi yang lebih besar bila dibandingkan ketika kecepatan angin sebesar 12 m/s dan 17 m/s, Nilai C_p ini diperoleh dari penentuan nilai pitch angle dari simulasi dengan metode optimasi PSO sehingga mendapatkan C_p yang maksimum. Berdasarkan hasil pengujian pada tabel 2 diketahui ketika kecepatan angin yang mengashilkan nilai C_p yang paling besar adalah ketika bernilai 12 m/s, ketika kecepatan angin bernilai dibawah 12 m/s yakni 10 m/s dan 8 m/s maka C_p yang dihasilkan lebih

kecil dari nilai C_p ketika kecepatan angin sebesar 12 m/s, dan daya generator yang dihasilkan bernilai lebih kecil pula. Berbeda ketika kecepatan angin berada diatas 12 m/s yakni 17 m/s dan 20 m/s, nilai C_p yang dihasilkan juga lebih kecil dari C_p saat kecepatan angin bernilai 12 m/s, tetapi daya yang dihasilkan lebih besar walaupun nilai C_p yang lebih kecil. Hal ini membuktikan bahwa Nilai Pitch angle sangat berpengaruh terhadap keluaran daya generator.

Kemudian untuk simulasi optimasi menggunakan GA digunakan parameter yang sama dengan PSO. Data hasil pengujian menggunakan GA didapatkan hasil yang ditunjukkan oleh gambar 2 dan tabel 3.



Gambar 2. Hasil simulasi optimasi C_p menggunakan Genetic Algorithm dengan variasi kecepatan angin (a) 10 m/s (b) 12 m/s (c) 17 m/s

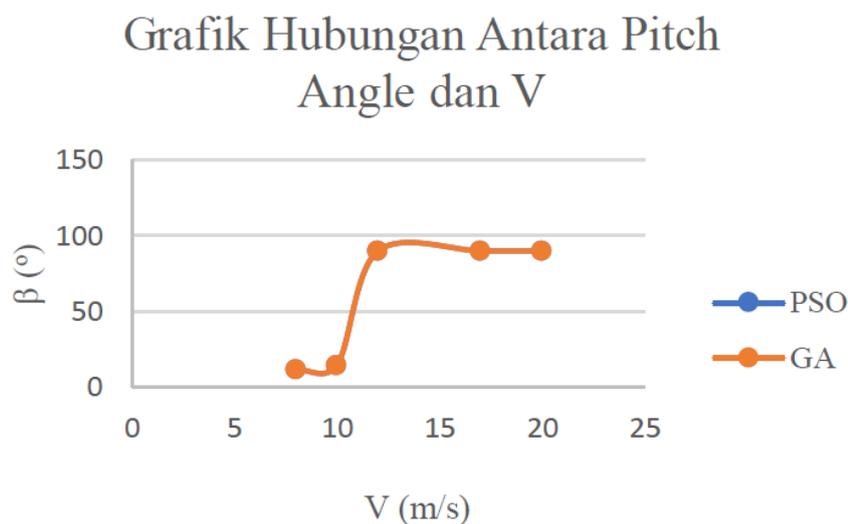
Tabel 3. Data Hasil Pengujian dengan Metode Genetic Algorithm

No	V (m/s)	β	C_p	P_g (MW)	Waktu Komputasi (s)
1	8	11.7447	0.1743	0.2439	1.4591
2	10	14.7265	0.3446	0.9420	1.4810
3	12	90	0.4034	1.9051	1.6149
4	17	90	0.3249	4.3628	1.7156
5	20	90	0.2574	5.6273	1.5115
Rata-rata waktu komputasi					1.5564

Dari hasil pengujian yang ditunjukkan oleh gambar 2 diketahui dengan menggunakan metode GA dalam menentukan C_p yang optima dibutuhkan lebih banyak iterasi ketika kecepatan angin meningkat, Nilai C_p ini diperoleh dari penentuan nilai pitch angle dari simulasi dengan metode optimasi GA sehingga mendapatkan C_p yang maksimum. Berdasarkan hasil pengujian pada tabel 3 diketahui ketika kecepatan angin yang menghasilkan nilai C_p yang paling besar adalah ketika bernilai 12 m/s, ketika kecepatan angin bernilai dibawah 12 m/s yakni 10 m/s dan 8 m/s maka C_p yang dihasilkan lebih kecil dari nilai C_p ketika kecepatan angin sebesar 12 m/s, dan daya generator yang dihasilkan bernilai lebih kecil pula. Berbeda ketika kecepatan angin berada diatas 12 m/s yakni 17 m/s dan 20 m/s, nilai C_p yang dihasilkan juga lebih kecil dari C_p saat kecepatan angin bernilai 12 m/s, tetapi daya yang dihasilkan lebih besar walaupun nilai C_p yang lebih kecil. Hal ini membuktikan bahwa Nilai Pitch angle sangat berpengaruh terhadap keluaran daya generator.

Dari pembahasan diatas diketahui baik menggunakan metode optimasi PSO dan metode optimasi GA dihasilkan perbedaan hasil dalam menentukan C_p yang sangat kecil. Hal ini dapat dilihat dari nilai daya yang dihasilkan di tabel 2 dan tabel 3 yang nilainya sama. Perbedaan yang signifikan dari kedua metode optimasi ini adalah iterasi dan waktu komputasi yang digunakan ketika menentukan C_p yang optima. Pada metode optimasi PSO iterasi semakin sedikit ketika kecepatan angin meningkat, sedangkan pada metode optimasi GA iterasi semakin banyak ketika kecepatan angin meningkat. Pada waktu komputasi menunjukkan bahwa metode optimasi PSO lebih unggul bila dibandingkan dengan metode optimasi GA dari segi kecepatan waktu saat dilakukan pengujian.

Berdasarkan data tabel 2 dan 3 dapat diketahui hubungan antara kecepatan angin dan daya yang dihasilkan WTG ditunjukkan oleh gambar 3 berikut.



Gambar 3. Hubungan antara pitch angle β dan kecepatan angin V

Dari gambar 3 diketahui bahwa kurva PSO dan GA saling berimpitan. Hal ini menandakan bahwa kedua optimasi ini menghasilkan nilai optimasi yang sama dalam penentuan pitch angle untuk mendapatkan nilai optima dari C_p sebagai indikator penentu keluaran daya pada generator. Dari gambar 3 diketahui hubungan antara pitch angle dengan kecepatan angin dimana terjadi perubahan yang sangat signifikan ketika kecepatan angin berubah dari 10 m/s naik ke 12 m/s dan kemudian akan konstan yaitu 90 derajat ketika berada pada rentang 12 m/s hingga 20 m/s.

4. KESIMPULAN DAN SARAN

Dari pengujian yang dilakukan antara metode optimasi PSO dan GA dalam menentukan nilai pitch angle menghasilkan nilai Pitch angle (β) sama dari kedua optimasi. Pada kedua metode ini memiliki perbedaan yakni metode optimasi PSO hanya membutuhkan iterasi yang sedikit dan waktu komputasi yang lebih singkat. Pada metode optimasi GA memiliki iterasi yang lebih banyak dan waktu komputasi yang lebih lama dari metode optimasi PSO. Dari pengujian ini diketahui bahwa nilai pitch angle terhadap kecepatan angin memiliki perubahan yang nonlinear dimana terdapat perubahan pitch angle yang sangat signifikan dari kecepatan 10 m/s ke 12 m/s dan bernilai konstan 90 derajat ketika berada diatas 12 m/s hingga 20 m/s.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] M. Sahib and T. Nayl, "A New Pitch Angle Control Method of Wind Turbine Generators Based on Feedforward Wind Speed Information," in *E3S Web of Conferences*, 2019, vol. 122, p. 4001.
- [2] A. Hwas and R. Katebi, "Wind turbine control using PI pitch angle controller," *ifac Proc. Vol.*, vol. 45, no. 3, pp. 241–246, 2012.
- [3] 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.
- [4] M. Ali, S. Soedibyo, and I. Robandi, "Desain Pitch Angle Controller Turbin Angin Dengan Permanent Magnetic Synchronous Generator (PMSG) Menggunakan Imperialist Competitive Algorithm (ICA)," *SENTIA 2015*, vol. 7, no. 1, 2015.
- [5] M. Ben Smida and A. Sakly, "Smoothing wind power fluctuations by particle swarm optimization-based pitch angle controller," *Trans. Inst. Meas. Control*, vol. 41, no. 3, pp. 647–656, 2019.
- [6] M. Tabassum, K. Mathew, and others, "A genetic algorithm analysis towards optimization solutions," *Int. J. Digit. Inf. Wirel. Commun.*, vol. 4, no. 1, pp. 124–142, 2014.
- [7] R. Sitharthan, C. K. Sundarabalan, K. R. Devabalaji, T. Yuvaraj, and A. Mohamed Imran, "Automated power management strategy for wind power generation system using pitch angle controller," *Meas. Control*, vol. 52, no. 3–4, pp. 169–182, 2019.
- [8] M. Clerc, *Particle swarm optimization*, vol. 93. John Wiley & Sons, 2010.
- [9] S. Sengupta, S. Basak, and R. A. Peters, "Particle Swarm Optimization: A survey of historical and recent developments with hybridization perspectives," *Mach. Learn. Knowl. Extr.*, vol. 1, no. 1, pp. 157–191, 2019.
- [10] N. K. Jain, U. Nangia, and J. Jain, "A review of particle swarm optimization," *J. Inst. Eng. Ser. B*, vol. 99, no. 4, pp. 407–411, 2018.
- [11] R. D. Muhammad, "Metode Particle Swarm Optimization Untuk Mengontrol Frekuensi Pada Hibrid Wind-Diesel," *J. INTAKE J. Penelit. Ilmu Tek. Dan Ter.*, vol. 7, no. 2, pp. 1–13, 2016.
- [12] 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.
- [13] 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.
- [14] 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.
- [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] D. Bratton and J. Kennedy, “Defining a standard for particle swarm optimization,” in *2007 IEEE swarm intelligence symposium*, 2007, pp. 120–127.
- [17] M. Mitchell, *An introduction to genetic algorithms*. MIT press, 1998.
- [18] M. Saraswat and A. K. Sharma, “Genetic Algorithm for optimization using MATLAB,” *Int. J. Adv. Res. Comput. Sci.*, vol. 4, no. 3, pp. 155–159, 2013.
- [19] M. Kumar, M. Husain, N. Upreti, and D. Gupta, “Genetic algorithm: Review and application,” *Available SSRN 3529843*, 2010.
- [20] N. H. Sabilla, A. Nugroho, and S. Handoko, “Optimasi penempatan pembangkit terdistribusi pada IEEE 30 bus system menggunakan algoritma genetika,” *Transient J. Ilm. Tek. Elektro*, vol. 2, no. 3, pp. 651–658, 2013.
- [21] M. U. H. RAIS and R. AMINUDDIN, “ANALISIS DAMPAK MASUKNYA PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA BAYU SIDRAP 70 MW TERKAIT KUALITAS ENERGI LISTRIK SISTEM SULSELBAR DAN KONTINUITAS PELAYANAN PADA KONDISI TEGANGAN DIP DENGAN PEMODELAN SIMULASI KOMPUTER,” *J. INSTEK (Informatika Sains dan Teknol.*, vol. 5, no. 1, pp. 1–10, 2020.
- [22] A. Emami and P. Noghreh, “New approach on optimization in placement of wind turbines within wind farm by genetic algorithms,” *Renew. Energy*, vol. 35, no. 7, pp. 1559–1564, 2010.
- [23] M. R. Fariez, F. G. Maulana, and H. Nugroho, “Penggunaan Metode Optimasi Genetic Algorithm dalam Penentuan Letak Turbin Angin,” *J. Teknol.*, vol. 2, no. 2, 2020.