

## **Pengaturan *Pitch Angle* Turbin Angin Menggunakan Metode Particle Swarm Optimization dan Genetic Algorithm**

*Cintikhe Allo Mongan<sup>1</sup>; Rejanta Pesaher Ignatius G<sup>1</sup>; Herminarto Nugroho<sup>1\*</sup>*

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

<sup>\*)</sup>*Email: [herminarto.nugroho@universitaspertamina.ac.id](mailto:herminarto.nugroho@universitaspertamina.ac.id)*

*Received: 7 April 2022 | Accepted: 2 September 2022 | Published: 28 November 2022*

### **ABSTRACT**

*Renewable Energy is one of the solutions to replace fossil fuels energy that are starting to be limited. Countries around the world are now competing to develop new and renewable energy, including Indonesia. One of the new and renewable energies developed by Indonesia is wind energy. However, the potential for wind energy in Indonesia is not as good as in Netherlands, for example, so optimization is needed to maximize the available energy. In this Research, the appropriate Pitch Angel was determined to produce maximum power by varying the wind speed using Particle Swarm Optimization (PSO) and Genetic Algorithm (GA) optimization methods. The result of the analysis shows that wind speed affects the size of pitch angle and power coefficient produced. When the power coefficient reaches rated, the power coefficient will decrease as the wind speed increases, while the pitch angle will remain constant when it reaches maximum angle. By using PSO and GA methods, it is known that pitch angle produced has the same value. The difference between the two methods can be seen in the amount dan computation time to get its optimum value.*

**Keywords:** *renewable energy, pitch angle, particle swarm optimization, genetic algorithm*

### **ABSTRAK**

*Energi baru terbarukan merupakan salah satu solusi untuk menggantikan bahan bakar fosil yang mulai terbatas. Negara di seluruh dunia kini berlomba-lomba mengembangkan energi baru terbarukan termasuk Indonesia. Salah satu energi baru terbarukan yang dikembangkan oleh Indonesia adalah energi angin. Namun, potensi energi angin di Indonesia tidak sebaik di negara Belanda contohnya, sehingga optimalisasi sangat dibutuhkan untuk memaksimalkan energi yang ada. Pada penelitian ini dilakukan penentuan Pitch Angle yang sesuai untuk menghasilkan daya maksimum dengan memvariasikan kecepatan angin menggunakan metode optimasi Particle Swarm Optimization (PSO) dan Genetic Algorithm (GA). Hasil analisis menunjukkan kecepatan angin mempengaruhi besar pitch angle dan koefisien daya yang dihasilkan. Ketika koefisien daya mencapai rated, koefisien daya akan menurun seiring dengan bertambahnya kecepatan angin, sedangkan pitch angle akan konstan ketika mencapai sudut maksimum. Dengan menggunakan metode PSO dan GA diketahui pitch angle yang dihasilkan memiliki nilai yang sama. Perbedaan kedua metode terlihat pada jumlah dan waktu komputasi untuk mendapatkan nilai optimumnya.*

**Kata kunci:** *energi baru terbarukan, pitch angle, particle swarm optimization, genetic algorithm*

## 1. PENDAHULUAN

Peningkatan kesadaran manusia akan kebutuhan energi bersih membuat Indonesia mulai mengembangkan energi baru terbarukan khususnya untuk menggantikan bahan bakar konvensional yang memiliki efek buruk untuk lingkungan. Indonesia kini mulai berinovasi dengan membangun pembangkit-pembangkit listrik dengan memanfaatkan energi baru dan terbarukan, salah satunya yaitu energi angin.

Pembangkit listrik tenaga angin atau bayu (PLTB) memiliki suatu generator turbin angin (WTG) yang berfungsi sebagai sistem yang dapat mengkonversikan energi angin menjadi energi listrik. WTG menjadi sumber daya pembangkit listrik yang paling umum disebabkan oleh faktor pemeliharaan yang bersih dan rendah [1]. Salah satu tantangan pengoperasian WTG ialah osilasi pada daya keluaran yang disebabkan oleh kecepatan angin yang bervariasi. Akibatnya, variabilitas ini menyebabkan konversi energi konstan yang sulit sehingga diperlukan sistem kontrol. Salah satu solusi untuk mengontrol fluktuasi pembangkit listrik adalah melalui kontrol sudut *pitch blade* [2]. Fluktuasi disini artinya pergantian kecepatan angin dari besar ke kecil atau sebaliknya dalam waktu yang singkat atau ada kalanya angin tidak berhembus sama sekali. Ketika kecepatan angin melebihi nilai pengenal, kontrol sudut *pitch blade* diaktifkan untuk menjaga daya keluaran yang dihasilkan konstan pada nilai pengenalnya [3].

Pada saat kecepatan angin berada pada level rendah, yaitu ketika berada di bawah nilai rata-rata di daerah tersebut, sistem pengatur kecepatan turbin angin berfungsi untuk mengatur kecepatan turbin secara simultan untuk dapat menghasilkan koefisien daya turbin yang optimal. Pengaturan kecepatan rotor ini dilakukan dengan mengatur nilai sudut *pitch angle* pada turbin angin. Perubahan nilai *pitch angle* dapat mempengaruhi keluaran daya turbin angin yang dihasilkan [4], [5]. Metode penentuan nilai *pitch angle* yang dilakukan pada penelitian-penelitian sebelumnya menggunakan *non-linear programming* dan juga *interior point algorithm* [6]. Kedua metode tersebut memiliki kekurangan pada hasil optimasi yang mudah terjebak pada *local optima*.

Pada penelitian ini akan dilakukan penentuan *Pitch Angle* yang sesuai untuk menghasilkan daya maksimum dari turbin angin dengan menggunakan dua metode optimasi non linear, yaitu metode *Particle Swarm Optimization* (PSO) dan *Genetic Algorithm* (GA). Metode PSO dan GA memiliki keunggulan pada hasil optimasi yang dapat keluar dari *local optima*, sehingga dapat menghasilkan hasil *global optimum*. Kemudian Penelitian ini ingin mencari manakah di antara PSO dan GA yang dapat menghasilkan *global optimum* dengan *computational cost* paling rendah. Artikel ini disusun sebagai berikut: pada bagian 2 menjelaskan tentang metode penelitian yang digunakan untuk menentukan *pitch angle* turbin angin. Pada bagian 3 merupakan hasil simulasi dan pembahasan berdasarkan masing-masing metode. Pada bagian 4 merupakan kesimpulan dari analisis yang telah dilakukan.

## 2. METODE/PERANCANGAN PENELITIAN

### 2.1. Rumusan Permasalahan Optimasi

Mengontrol *pitch angle* bertujuan untuk menghasilkan daya maksimum pada turbin angin. *Pitch Angle* yang dibutuhkan harus sesuai agar optimal daya yang dihasilkan oleh turbin angin dapat tercapai. Permasalahan optimasi ini memiliki fungsi biaya / *cost function* yang dapat dituliskan seperti persamaan berikut:

$$C_p = 0.22 \left( \frac{116}{x} - 0.48\beta - 5 \right) e^{-\frac{12.5}{x}} \quad (1)$$

dimana

$$\frac{1}{x} = \frac{1}{\lambda - 0.08\beta} - \frac{0.035}{1 + \beta^3} \quad (2)$$

Berdasarkan persamaan diatas, koefisien daya ( $C_p$ ) dipengaruhi oleh dua variabel yaitu  $\lambda$  dan  $\beta$ . Variabel  $\lambda$  adalah rasio kecepatan tip dan variabel  $\beta$  adalah *Blade Pitch Angle*. Variabel  $\lambda$  merupakan nilai yang bersifat tetap, sedangkan variabel  $\beta$  merupakan nilai yang berubah-ubah sehingga dapat diketahui variabel  $\beta$  merupakan parameter penentu untuk menghasilkan daya maksimum dari turbin angin.

Perhitungan rasio kecepatan ( $\lambda$ ) dapat menggunakan persamaan sebagai berikut.

$$\lambda = \frac{\omega R}{V} \quad (3)$$

Kemudian terdapat *constraints* / batasan-batasan yang harus dipenuhi dalam mencapai nilai maksimal daya dari turbin angin. Diasumsikan pada penelitian ini digunakan turbin angin yang mengubah energi angin menjadi energi listrik dengan efisiensi maksimum sebesar 59%. Kemudian asumsi *Pitch angle* yang dibutuhkan berkisar 0 hingga 90 derajat. Pseudo-code cara kerja optimasi pitch angle turbine angin adalah sebagai berikut:

```

for setiap iterasi do
    ukur kecepatan angin;
    inialisasi nilai pitch angle ( $\beta$ )
    hitung cost function
    if cost function  $\geq$  nilai treshold do
        ubah nilai pitch angle ( $\beta$ )
        hitung cost function
    else
        return nilai pitch angle
    
```

Pada penelitian ini akan digunakan dua metode optimasi non-linear, yaitu metode *Particle Swarm Optimization* (PSO) dan *Genetic Algorithm* (GA). Kedua metode ini digunakan untuk membandingkan metode mana yang lebih optimal dalam menyelesaikan permasalahan diatas.

## 2.2. Metode Optimasi

### 2.2.1. Particle Swarm Optimization (PSO)

PSO adalah suatu metode yang dapat digunakan untuk mencari parameter optimal yang memberikan nilai respon terbaik dari sebuah permasalahan optimasi non linear. PSO meniru perilaku sosial kawanan burung dan ikan di habitat aslinya. Setiap individu bergerak dan beroperasi menggunakan kecerdasannya sendiri dan juga relatif dipengaruhi oleh perilaku kelompok kolektifnya. Jika sebuah individu menemukan jalan terpendek atau terbaik ke sumber makanan, informasi tersebut akan dibagikan ke seluruh kawanan sehingga kelompok burung lain juga dapat dengan cepat mengikuti jalan itu, bahkan jika mereka berjauhan di dalam kelompok. Ada dua faktor yang mencirikan keadaan individu dalam ruang pencarian: posisi dan kecepatan masing-masing individu [7]–[9]. Metode PSO memiliki beberapa keunggulan. Secara khusus, PSO ini lebih efisien karena implementasinya yang lebih sederhana, konvergensi yang stabil, algoritma yang lebih

sederhana, dan lebih sedikit atau lebih banyak fleksibilitas dalam menjaga keseimbangan antara pencarian global dan lokal [10]–[13]. Kerugiannya adalah jika persamaan fungsi tujuan terlalu kompleks dan memiliki banyak *constraints*, pencarian lokal untuk nilai optimal pada setiap iterasi akan memakan waktu lama, dan nilai lokal optimal akan ada di luar batasan yang ditentukan [14]–[19].

Dalam menyelesaikan permasalahan diatas, simulasi dengan metode PSO dilakukan pada MATLAB untuk menentukan nilai *pitch angle* yang sesuai untuk menghasilkan daya maksimum dari turbin angin dengan fungsi objektif yang dituliskan pada persamaan (4). Fungsi objektif dalam mencari nilai desain variabel  $\beta$  adalah sebagai berikut,

$$-\min_{\beta} \left( -0.22 \left( \frac{116}{x} - 0.4\beta - 5 \right) e^{-\frac{12.5}{x}} \right) \quad (4)$$

s.t.

$$0 \leq \beta \leq 90$$

$$C_p \leq 0.59$$

Kemudian, kode pemrograman yang digunakan pada MATLAB untuk metode PSO sebagai berikut.

```
tic
options = optimoptions(@particleswarm,'Display','iter','TolFun',1e-10,'PlotFcn',@pswplotbestf);
% Parameter
omega= 2.273;
r = 38;
rho = 1.205;
v =12;
lamda = ((omega*r)/v);
nvar = 1;
% Membuat Fungsi Objektif;
fun = @(B)0.22*((116*((1/(lamda-0.08*B))-(0.035/(1+B^3))))-0.48*B-5)*exp(-12.5*((1/(lamda-0.08*B))-(0.035/(1+B^3))));
rng default
% Menentukan Batasan Fungsi Objektif
lb = [0];
ub = [1.570796327];
% Proses dijalankan
[B,fval] = particleswarm(fun,nvar,lb,ub,options)
toc
```

### 2.2.2. Genetic Algorithm (GA)

Sebuah metode optimasi yang disebut Genetic Algorithm (GA) adalah sebuah algoritma yang meniru proses evolusi alam, dan konsep utamanya adalah bahwa individu terbaik akan terus bertahan hidup dan yang lemah akan mati [20], [21]. Setiap individu ini dapat diuji dengan fungsi yang dikenal sebagai fungsi kebugaran (*fitness function*). Kebugaran (*fitness*) didefinisikan dalam GA sebagai sebuah parameter yang menggambarkan kemungkinan pemecahan masalah. Fungsi *fitness* menentukan nilai *fitness* yang menjadi acuan untuk proses iterasi GA selanjutnya. GA merupakan algoritma yang digunakan dalam proses optimasi. Dalam optimasi, tujuan utamanya adalah untuk

mencapai keadaan optimal dari solusi yang diperoleh. Namun, algoritma optimasi sering menemui *local optima*. *Local Optima* adalah kondisi di mana algoritma optimasi mencapai nilai tertinggi atau terendah yang diberikan beberapa nilai solusi kandidat. Ini berbeda dengan *global optima*, di mana algoritma mencapai solusi tertinggi atau terendah dari semua kandidat solusi untuk masalah yang diberikan. Local optima dapat disebabkan oleh konvergensi prematur, dimana populasi mencapai bentuk konvergen terlalu dini. Algoritma genetika adalah metode pencarian untuk memecahkan masalah optimasi kombinatorial yang sulit berdasarkan mekanisme seleksi alam dan genetika alam dan juga dapat menghasilkan global optima [22]–[24].

Simulasi dengan metode GA dilakukan pada MATLAB untuk menentukan nilai *pitch angle* yang sesuai untuk mengasilkan daya maksimum dari turbin angin dengan fungsi objektif yang dituliskan pada persamaan (4). Fungsi objektif dalam mencari nilai desain variabel  $\beta$  adalah sebagai berikut,

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

s.t.

$$0 \leq \beta \leq 90$$

$$C_p \leq 0.59$$

Kemudian, kode pemrograman yang digunakan pada MATLAB untuk metode GA sebagai berikut.

```
tic
options = optimoptions('ga','PlotFcn',{@gaplotbestf,@gaplotmaxconstr},
'Display','iter');
% Parameter
omega = 2.273;
r = 38;
rho = 1.205;
v = 12;
lamda = ((omega*r)/v);
nvar = 1;
% Membuat Fungsi Objektif;
fun = @(B)0.22*((116*((1/(lamda-0.08*B)))-(0.035/(1+B^3))))-0.48*B-5)*exp(-12.5*((1/(lamda-0.08*B)))-(0.035/(1+B^3)));
rng default
% Menentukan Batasan Fungsi Objektif
lb = [0];
ub = [1.570796327];
% Proses dijalankan
[B,fval] = ga(fun,nvar,[],[],[],[],lb,ub,[],options)
toc
```

### 3. HASIL DAN PEMBAHASAN

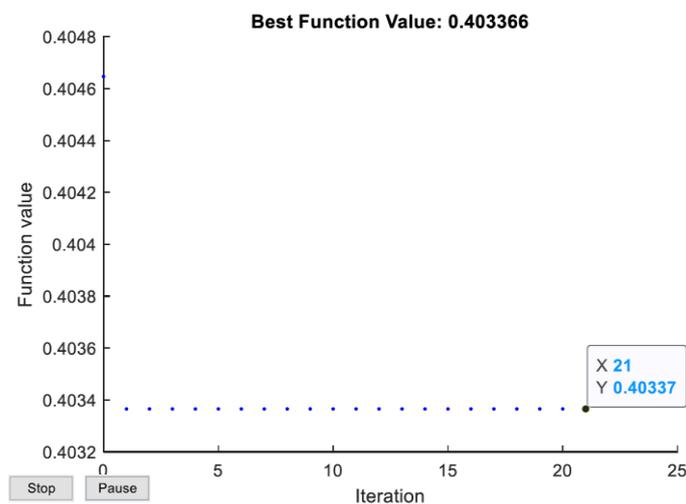
Dalam menentukan *pitch angle* yang sesuai untuk megoptimalkan daya yang dihasilkan turbin angin menggunakan metode PSO dan GA dapat dilakukan dengan memvariasikan kecepatan (V) pada masing-masing metode. Pada pengujian pertama yaitu metode PSO menggunakan nilai variasi

kecepatan angin yang berbeda. Hasil pengujian menggunakan metode PSO dapat dilihat pada Tabel 1 dan gambar 1 sebagai berikut.

**Tabel 1.** Hasil pengujian optimasi dengan *Particle Swarm Optimization* (PSO)

No	V (m/s)	PSO		
		$\beta(^{\circ})$	$C_p$	Waktu Komputasi (s)
1	7	10.8939	0.0356	2.582432
2	10	14.7255	0.3446	2.130485
3	12	90	0.4034	2.566566
4	15	90	0.3664	2.238982
5	19	90	0.2797	1.857232
Rata-rata waktu				2.075139

Perubahan *pitch angle* akan disesuaikan dengan tinggi atau rendahnya kecepatan angin yang memutar baling-baling kincir angin. Berdasarkan Tabel 1 diketahui semakin tinggi kecepatan angin maka *pitch angle* yang dihasilkan akan semakin besar. Terlihat pada kecepatan angin 12 m/s dengan *pitch angle* ( $\beta$ ) sebesar  $90^{\circ}$  menghasilkan koefisien daya ( $C_p$ ) yang paling maksimum yaitu 0.4034. Setelah mencapai titik maksimum (*rated*), koefisien daya yang dihasilkan akan menurun seiring dengan bertambahnya kecepatan angin sedangkan *pitch angle* ( $\beta$ ) yang dihasilkan akan konstan ketika mencapai sudut maksimum sehingga dapat diketahui dengan kecepatan angin yang bervariasi dapat mempengaruhi *pitch angle* dan koefisien daya pada turbin angin. Pada gambar 1 diketahui jumlah komputasi pada metode PSO untuk mendapatkan *pitch angle* maksimum yaitu sebanyak 21 kali. Komputasi pada metode PSO dengan variasi kecepatan angin dapat dilakukan dengan rata-rata waktu yaitu 2.075139 detik.

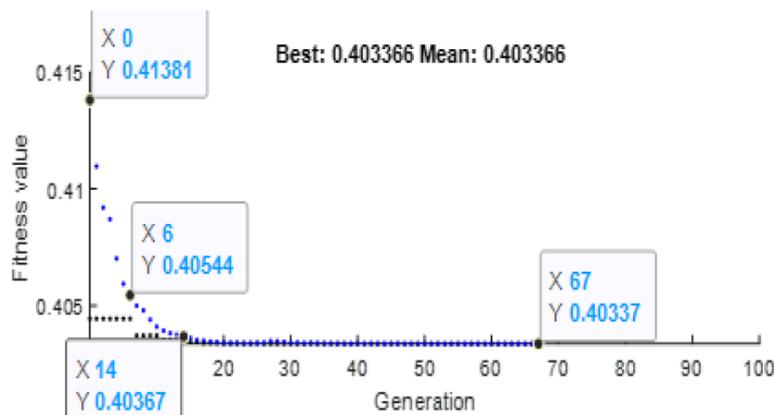


**Gambar 1.** Hasil optimasi nilai  $C_p$  terhadap variasi kecepatan  $v = 12$  m/s dan *pitch angle*  $90^{\circ}$  menggunakan *Particle Swarm Optimization* (PSO)

Pada pengujian kedua yaitu metode GA menggunakan nilai variasi kecepatan angin yang berbeda untuk menentukan *pitch angle*. Hasil pengujian menggunakan metode GA dapat dilihat pada Tabel 2 dan gambar 2 sebagai berikut.

Tabel 2. Hasil pengujian optimasi dengan *Genetic Algorithm* (GA)

No	V (m/s)	GA		
		$\beta$ (°)	$C_p$	Waktu Komputasi (s)
1	7	10.8954	0.0356	4.310684
2	10	14.7238	0.3446	4.055972
3	12	90	0.4034	5.674665
4	15	90	0.3664	5.685767
5	19	90	0.2797	5.533555
Rata-rata waktu				5.052129



Gambar 2. Hasil optimasi nilai  $C_p$  terhadap variasi kecepatan  $v = 12$  m/s dan *pitch angle*  $90^\circ$  menggunakan *Genetic Algorithm* (GA)

Perubahan *pitch angle* akan disesuaikan dengan tinggi atau rendahnya kecepatan angin yang baling-baling kincir angin. Berdasarkan Tabel 2 diketahui semakin tinggi kecepatan angin maka *pitch angle* yang dihasilkan akan semakin besar. Terlihat pada kecepatan angin 12 m/s dengan *pitch angle* ( $\beta$ ) sebesar  $90^\circ$  menghasilkan koefisien daya ( $C_p$ ) yang paling maksimum yaitu 0.4034. Setelah mencapai titik maksimum (*rated*), koefisien daya yang dihasilkan akan menurun seiring dengan bertambahnya kecepatan angin, sedangkan *pitch angle* ( $\beta$ ) yang dihasilkan akan konstan ketika mencapai sudut maksimum sehingga dapat diketahui dengan kecepatan angin yang bervariasi mempengaruhi *pitch angle* dan koefisien daya pada turbin angin,

Pada gambar 2 diketahui jumlah komputasi pada metode GA untuk mendapatkan *pitch angle* maksimum yaitu sebanyak 67 kali. Komputasi pada metode GA dengan variasi kecepatan angin dapat dilakukan dengan rata-rata waktu sebesar 5.052129 detik.

#### 4. KESIMPULAN DAN SARAN

Berdasarkan pengujian yang telah dilakukan menggunakan metode PSO dan GA, masing-masing metode memperoleh nilai *pitch angle* yang sama. Perbedaan kedua metode terdapat pada jumlah komputasi yang dibutuhkan untuk mencari nilai *pitch angle* yang sesuai sehingga optimum daya dapat tercapai. Metode PSO membutuhkan jumlah komputasi sebanyak 21 kali dengan rata-rata waktu 2.075139 detik, sedangkan metode GA membutuhkan jumlah komputasi sebanyak 67 kali dengan rata-rata waktu 5.052129 detik. Dapat disimpulkan bahwa metode PSO lebih unggul dibandingkan dengan metode GA karena metode PSO membutuhkan komputasi yang lebih sedikit dan dengan waktu yang relatif lebih cepat.

## DAFTAR PUSTAKA

- [1] 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.
- [2] D. Ochoa and S. Martinez, "Frequency dependent strategy for mitigating wind power fluctuations of a doubly-fed induction generator wind turbine based on virtual inertia control and blade pitch angle regulation," *Renew. energy*, vol. 128, pp. 108–124, 2018.
- [3] H. Matayoshi, A. M. Howlader, M. Datta, and T. Senjyu, "Control strategy of PMSG based wind energy conversion system under strong wind conditions," *Energy Sustain. Dev.*, vol. 45, pp. 211–218, 2018.
- [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] A. Hwas and R. Katebi, "Wind turbine control using PI pitch angle controller," *ifac Proc. Vol.*, vol. 45, no. 3, pp. 241–246, 2012.
- [6] H. Nugroho, "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," *KILAT*, vol. 11, no. 1, pp. 93–100, 2022.
- [7] R. Poli, J. Kennedy, and T. Blackwell, "Particle swarm optimization," *Swarm Intell.*, vol. 1, no. 1, pp. 33–57, 2007.
- [8] M. Clerc, *Particle swarm optimization*, vol. 93. John Wiley & Sons, 2010.
- [9] K.-L. Du and M. N. S. Swamy, "Particle swarm optimization," in *Search and optimization by metaheuristics*, Springer, 2016, pp. 153–173.
- [10] J. MAKNUNAH, "PERANCANGAN SISTEM KONTROL SUDUT PITCH TURBIN ANGIN MENGGUNAKAN METODE PSO (PARTICLE SWARM OPTIMIZATION)," Institut Teknologi Sepuluh Nopember, 2017.
- [11] P. Wilson and H. A. Mantooh, *Model-based engineering for complex electronic systems*. Newnes, 2013.
- [12] A. Tharwat, T. Gaber, A. E. Hassanien, and B. E. Elnaghi, "Particle swarm optimization: a tutorial," *Handb. Res. Mach. Learn. Innov. trends*, pp. 614–635, 2017.
- [13] F. Marini and B. Walczak, "Particle swarm optimization (PSO). A tutorial," *Chemom. Intell. Lab. Syst.*, vol. 149, pp. 153–165, 2015.
- [14] S. H. F. Hakim, I. Cholissodin, and A. W. Widodo, "Seleksi Fitur Dengan Particle Swarm Optimization Untuk Pengenalan Pola Wajah Menggunakan Naive Bayes (Studi Kasus Pada Mahasiswa Universitas Brawijaya Fakultas Ilmu Komputer Gedung A)," *J. Pengemb. Teknol. Inf. dan Ilmu Komput. e-ISSN*, vol. 2548, p. 964X, 2017.
- [15] 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.
- [16] 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.
- [17] 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.

- [18] 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.
- [19] 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.
- [20] 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.
- [21] M. Mitchell, *An introduction to genetic algorithms*. MIT press, 1998.
- [22] E. AP, "Fundamentals of computational swarm intelligence." John Wiley Sons, 2005.
- [23] A. Slowik, "Swarm Intelligence Algorithms: A Tutorial," 2020.
- [24] S. Rajeev and C. S. Krishnamoorthy, "Discrete optimization of structures using genetic algorithms," *J. Struct. Eng.*, vol. 118, no. 5, pp. 1233–1250, 1992.