

Penerapan Metode Particle Swarm Optimization dan Genetic Algorithm pada Optimisasi Sudut Kelengkungan Turbin Air Banki Untuk Mendapatkan Efisiensi Daya Optimal

Nabilla Ananda Yusva¹; Ortega Incon Marama Pandiangan¹; Herminarto Nugroho^{1*}

1. Program Studi Teknik Elektro, Fakultas Teknologi Industri, Universitas Pertamina

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

Abstract

Indonesia has many resources such as geothermal, solar, wind, water, and so on. Among all of these resources, water is the most dominant resource for Indonesia. Because the amount of water availability in Indonesia reaches 694 billion cubic meters per year. Thus, hydroelectric power is widely used as an energy supplier. In this journal, we will discuss the efficiency generated from hydroelectric power with the model is Banki's Water Turbine written by Mockmore and Merryfield in 1949. The problems that will be discussed is how to maximize the output power of the turbine using the Particle Swarm Optimization (PSO) and Genetic Algorithm (GA) optimization methods. The comparison parameters which obtained by using these two methods are the maximum value of the output power, efficiency dan maximum number of iterations performed. Based on these differences, it can be said that the PSO method is better than GA for producing maximum output power, the efficiency of the turbine and faster to reach the optimum value.

Keywords: Banki's Water Turbine, Efficiency, Genetic Algorithm (GA), Maximum Output Power, Particle Swarm Optimization (PSO)

Abstrak

Indonesia memiliki banyak sumber daya seperti panas bumi, surya, angin, air, dan lain sebagainya. Diantara banyaknya sumber daya, air merupakan sumber daya yang paling dominan bagi Indonesia. Karena jumlah ketersediaan air di Indonesia mencapai 694 milyar meter kubik pertahunnya. Sehingga, pembangkit listrik tenaga air banyak digunakan sebagai pemasok energi. Pada jurnal ini membahas efisiensi pembangkit listrik tenaga air menggunakan model turbin air Banki yang ditulis oleh Mockmore dan Merryfield pada tahun 1949. Permasalahan yang akan dibahas adalah bagaimana memaksimalkan daya keluaran turbin dengan menggunakan metode optimasi Particle Swarm Optimization (PSO) dan Genetic Algorithm (GA). Parameter pembandingan yang dilakukan dengan menggunakan kedua metode ini adalah nilai maksimum daya keluaran, efisiensi dan jumlah iterasi maksimum yang dilakukan. Berdasarkan parameter pembandingan tersebut maka dapat dikatakan bahwa metode PSO lebih baik daripada GA dalam memaksimalkan daya keluaran, efisiensi dari turbin dan juga lebih cepat dalam menghitung nilai optimal yang diperoleh.

Kata kunci: Daya Keluaran Maksimal, Efisiensi, Genetic Algorithm (GA), Particle Swarm Optimization (PSO), Turbin Air Banki

1. PENDAHULUAN

Indonesia merupakan negara yang terletak di garis khatulistiwa yang mana memiliki sumber energi yang melimpah seperti energi fosil dan non-fosil. Namun, sejauh ini energi yang paling sering digunakan adalah energi fosil. Karena kebutuhan energi yang terus meningkat sehingga jika terus menerus menggunakan energi fosil akan memicu krisis energi. Salah satu strategi untuk mengurangi krisis energi adalah dengan menggunakan energi terbarukan sebagai keseimbangan energi dan mengurangi dampak perubahan iklim [1]. Indonesia memiliki banyak sumber daya seperti panas bumi, surya, angin, air, dan lain sebagainya. Diantara banyaknya sumber daya, air merupakan sumber daya yang paling dominan bagi Indonesia. Karena jumlah ketersediaan air di Indonesia mencapai 694 milyar meter kubik pertahunnya [2]. Sehingga, pembangkit listrik tenaga air banyak digunakan sebagai pemasok energi.

Pembangkit listrik tenaga air merupakan pengubah energi dari energi kinetis menjadi energi listrik. Energi kinetis yang dimaksud adalah pergerakan air yang mana memanfaatkan generator atau jatuhnya air untuk memutar turbin/kincir. Akan tetapi, untuk memutar turbin/kincir memerlukan jumlah air yang konstan agar menghasilkan energi listrik yang konstan [3]. Turbin Banki merupakan model turbin yang ditulis oleh Mockmore dan Merryfield pada tahun 1949 [4], [5]. Teori ini membahas mengenai analisis matematika dan eksperimen dari model turbin banki. Pembuatan model ini didasarkan pada data seperti diameter turbin, lebar turbin, jumlah sudu, sudut kelengkungan sudu, debit air, dan beban generator.

Berdasarkan permasalahan yang telah dijelaskan di atas, kami bertujuan membuat fungsi optimisasi dari efisiensi turbin air Banki. Sudut kelengkungan sudu merupakan salah satu komponen yang menentukan besaran keluaran daya, kecepatan, efisiensi yang sebaik mungkin [6]. Sehingga, perlu dilakukan variasi sudut kelengkungan untuk mendapatkan efisiensi yang maksimal. Metode matematika yang kami gunakan untuk menghasilkan parameter yang optimal yaitu Particle Swarm Optimization (PSO) dan Genetic Algorithm (GA). Metode ini digunakan untuk mengetahui sesuai atau tidaknya sudut kelengkungan sudu agar menghasilkan parameter yang optimal. Dengan menggunakan metode ini diharapkan akan mendapatkan efisiensi Turbin Air Banki yang maksimal.

2. METODE/PERANCANGAN PENELITIAN

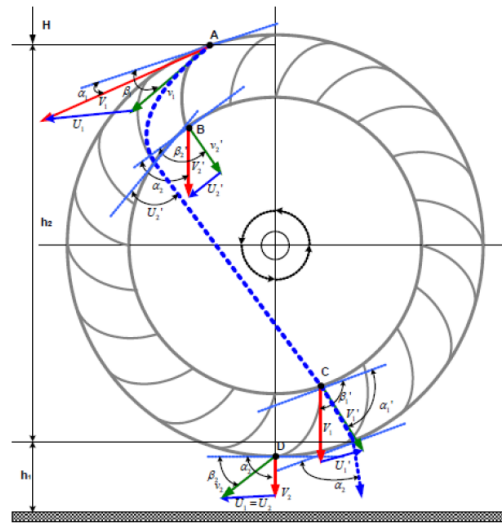
2.1. Rumusan Permasalahan Optimasi

Turbin Air Banki terdiri atas dua bagian yaitu sebuah penggerak dan nosel. Penggerak turbin Banki ini tersusun dari 2 buah piringan melingkar yang disusun secara paralel dan pada pinggirannya terdapat susunan sudu yang melengkung. Penampang dari nosel turbin Banki memiliki bentuk persegi yang akan mengeluarkan semburan air penuh seukuran lebar dari roda turbin. Semburan air ini yang berasal dari nosel turbin ini akan memasuki roda dengan kelengkungan sudut sebesar 16° terhadap keliling roda turbin. Bentuk jalur air pada turbin Banki ini dapat dilihat pada Gambar 1.

Berdasarkan jalur aliran air pada Turbin Banki seperti yang ditunjukkan Gambar 1, dapat diketahui bahwa aliran air yang mengalir pada turbin berbentuk radial. Kecepatan relatif air (u_1) pada saat mengenai turbin dapat diketahui jika kecepatan dari keliling roda turbin juga diketahui dengan β_1 merupakan sudut diantara v_1 dan u_1 . Untuk mendapatkan efisiensi yang maksimum, sudut dari sudu yang digunakan harus sama dengan β_1 .

Simulasi ini dilakukan untuk mendapatkan nilai efisiensi yang semaksimal mungkin. Nilai efisiensi turbin Banki didapatkan dengan menggunakan perbandingan antara daya output dan daya input yang mana daya tersebut dipengaruhi oleh parameter H , g , C , ω , Ψ , α_1 , β_1 , dan β_2 . Parameter seperti H , g , dan C merupakan parameter konstanta atau tidak akan berubah nilainya saat dilakukan optimisasi. Sedangkan, parameter seperti α_1 , β_1 , dan β_2 merupakan parameter yang dapat

mempengaruhi efisiensi turbin. Berikut ini persamaan (1) merupakan persamaan untuk mengoptimalkan efisiensi Turbin Air Banki.



Gambar 1. Jalur Aliran Air pada Turbin Banki [4]

$$\eta = \frac{P_{out}}{P_{in}} \quad (1)$$

Sebelum mendapatkan nilai efisiensi (η) terlebih dahulu mencari nilai daya input (P_{in}) dan daya output (P_{out}) dengan menggunakan persamaan (2) dan (3).

$$P_{in} = \frac{\omega Q H}{g} = \frac{\omega Q V_1^2}{C^2 2g} \quad (2)$$

$$P_{out} = \left(\frac{\omega Q u_1}{g} \right) (V_1 \cos \alpha_1 - u_1) \left(1 + \frac{\Psi \cos \beta_2}{\cos \beta_1} \right) \quad (3)$$

Dengan H adalah ketinggian air, g adalah konstanta gravitasi, C adalah koefisien dari sudu, ω adalah kecepatan rotor, Ψ adalah koefisien gesekan dari nosel, β_1 dan β_2 adalah sudut kelengkungan, dan α_1 adalah sudut antara kecepatan absolut dan kecepatan roda. Akan tetapi, sebelum mencari nilai P_{in} dan P_{out} diperlukan parameter seperti V_1 dan u_1 dengan menggunakan persamaan (4) dan (5).

$$V_1 = C \sqrt{2gH} \quad (4)$$

$$u_1 = \left| \frac{C}{(1 + \Psi)} \right| (V_1 \cos^2 \alpha_1) \quad (5)$$

Dengan V_1 adalah besar kecepatan air yang mengalir pada turbin dan u_1 adalah kecepatan relatif air yang mengalir.

Untuk mendapatkan nilai efisiensi yang dihasilkan mencapai nilai maksimal maka pada pengujian ini akan dilakukan pencarian daya keluaran maksimum dengan fungsi objektif yang akan digunakan sebagai berikut:

$$\min_{\alpha_1, \beta_1, \beta_2} \left(-\frac{\omega Q \left| \frac{C}{(1+\Psi)} \right| (V_1 \cos^2 \alpha_1)}{g} \right) \left(V_1 \cos \alpha_1 - \left| \frac{C}{(1+\Psi)} \right| (V_1 \cos^2 \alpha_1) \right) \left(1 + \frac{\Psi \cos \beta_2}{\cos \beta_1} \right)$$

s.t

$$P_{out} \leq P_{in}$$

$$15 \leq \alpha_1 \leq 17$$

$$28 \leq \beta_1 \leq 31$$

$$29 \leq \beta_2 \leq 32$$

2.2. Metode Optimasi

2.2.1. Particle Swarm Optimization (PSO)

Particle Swarm Optimization (PSO) merupakan metode optimasi yang pada awalnya ditemukan digunakan untuk mensimulasikan perilaku kehidupan individual dari kawanan burung dan populasi ikan [7]. Simulasi awal yang dilakukan yaitu melakukan pencocokan kecepatan antar kawanan tetangga terdekat. Selain itu metode ini digunakan untuk menghilangkan variabel pendukung dan penggabungan pencarian multidimensi serta percepatan berdasarkan jarak. Penyelesaian permasalahan menggunakan metode PSO ini akan menghasilkan inisialisasi awal solusi yang acak dan untuk mendapatkan nilai yang optimal diharuskan menggunakan penelusuran secara iteratif. Kemudian, tiap individu dalam kelompok akan dilambangkan sebagai partikel dalam ruang dimensi solusinya [8].

Metode PSO ini cocok digunakan untuk berbagai permasalahan optimasi [9]–[12]. Hal ini dikarenakan PSO memiliki algoritma yang sederhana sehingga efektif digunakan untuk mengoptimisasi permasalahan yang memiliki jangkauan luas. Kelebihan yang dimiliki oleh metode PSO yaitu hanya terdapat beberapa parameter yang akan disesuaikan. Oleh karena memiliki algoritma yang sederhana, maka pada permasalahan optimisasi Turbin Air Banki untuk mendapatkan efisiensi yang maksimal ini digunakan metode optimasi PSO.

2.2.2. Genetic Algorithm

Genetic Algorithm (GA) merupakan metode yang meniru teori evolusi dengan cara seleksi alam yang dikemukakan oleh Charles Darwin. Simulasi awal yang dilakukan yaitu memasukkan populasi awal yang telah dibentuk. GA dilakukan secara berulang-ulang agar menemukan kromosom yang baik, hal ini disebut dengan generasi. Setiap generasi dilakukan 3 tahapan, yaitu seleksi kromosom, crossover, dan mutasi sampai menghasilkan populasi yang baru. Selama proses regenerasi terdapat dua kondisi untuk menghentikan proses tersebut yaitu konvergensi atau maksimal generasi. Kondisi konvergensi merupakan kondisi kromosom memenuhi nilai objektifitas yang sama. Sedangkan, maksimal generasi merupakan kondisi dimana regenerasi berhenti saat mencapai batas jumlah generasi yang dibangun [13], [14].

Metode GA ini merupakan jenis algoritma evolusi yang paling populer. Hal ini dikarenakan GA memiliki kelebihan dapat menyelesaikan permasalahan yang kompleks dan ruang pencarian yang luas [15]–[17]. Karena dapat menyelesaikan permasalahan yang kompleks, maka pada

permasalahan optimisasi Turbin Air Banki untuk mendapatkan efisiensi yang maksimal ini digunakan metode optimasi GA.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1. Pengaturan Simulasi

Dalam mengoptimalkan efisiensi daya yang dihasilkan dari turbin air Banki menggunakan metode particle swarm optimization (PSO) dan genetic algorithm (GA) dilakukan dengan cara memaksimalkan daya keluarannya. Untuk memaksimalkan daya keluarannya dilakukan dengan cara memvariasikan $\alpha 1$, $\beta 1$, dan $\beta 2$ dari turbin. Pada pengujian optimisasi ini digunakan parameter pengujian seperti yang ditunjukkan tabel 1.

Tabel 1. Parameter Simulasi [4]

Simbol	Parameter	Nilai	Satuan
Q	Debit air	35	m^3/s
ω	Kecepatan rotor	10	Rad/s
H	Ketinggian air	56	m
g	Percepatan gravitasi	9,8	m/s^2
V_1	Kecepatan absolut	32,467	m/s
Ψ	Koefisien gesekan nossel	1	—
C	Koefisien gesekan sudut	0,98	—

Untuk kode pemrogram pada MATLAB yang digunakan dengan metode PSO dapat dituliskan sebagai berikut:

```
%Menentukan opsi untuk plotting fungsi objektif pada tiap iterasi
options = optimoptions(@particleswarm,'Display','iter','PlotFcn',@pswplotbestf);
%Menentukan Parameter
q = 35; %Debit air
w = 10; %Kecepatan rotor
h = 56; %Ketinggian air
g = 9.8; %Gravitasi
y = 1; %Koefisien gesekan nossel
c = 0.98; %Koefisien gesekan sudu
%Menentukan persamaan kecepatan absolut
V1 = c*sqrt(2*g*h);
%Menentukan fungsi objektif
fun = @(sudut) (-((w*q*((c/(1+y)) * (V1*cos(sudut(1)) * cos(sudut(1))))/g)*((V1*cos(sudut(1)))-((c/(1+y)) * (V1*cos(sudut(1)) * cos(sudut(1)))) * (1+(y*cos(sudut(3))/cos(sudut(2))))));
%Menentukan batasan fungsi objektif
sudut_0 = [0.261799; 0.488692; 0.506145];
lb = [0.261799; 0.488692; 0.506145];
ub = [0.296706; 0.541052; 0.558505];
%Proses Optimisasi menggunakan PSO
[x,fval] = particleswarm(fun,3,lb,ub,options);
```

Untuk kode pemrograman pada MATLAB yang digunakan dengan metode GA dapat dituliskan sebagai berikut:

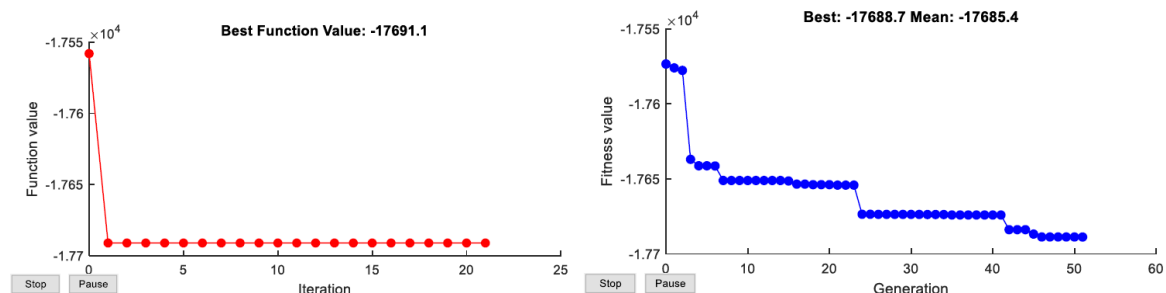
```
%Menentukan opsi untuk plotting fungsi objektif pada tiap iterasi
options = optimoptions(@ga,'Display','iter','PlotFcn',@gaplotbestf,'FunctionTolerance',2e+4);
%Menentukan Parameter
q = 35; %Debit air
w = 10; %Kecepatan rotor
h = 56; %Ketinggian air
g = 9.8; %Gravitasi
y = 1; %Koefisien gesekan nossel
c = 0.98; %Koefisien gesekan sudu
%Menentukan persamaan kecepatan absolut
V1 = c*sqrt(2*g*h);
%Menentukan fungsi objektif
fun = @(sudut) (-(w*q*((c/(1+y)) * (V1*cos(sudut(1)) * cos(sudut(1))))/g) * ((V1*cos(sudut(1)))
-((c/(1+y)) * (V1*cos(sudut(1)) * cos(sudut(1)))) * (1+(y*cos(sudut(3))/cos(sudut(2))))));
%Menentukan batasan fungsi objektif
sudut_0 = [0.261799; 0.488692; 0.506145];
lb = [0.261799; 0.488692; 0.506145];
ub = [0.296706; 0.541052; 0.558505];
%Proses Optimisasi menggunakan GA
[x,fval] = ga(fun,3,[],[],[],[],lb,ub,[],options)
```

3.2. Hasil Simulasi dan Analisis

Pada pengujian dengan menggunakan metode PSO dan GA, didapatkan hasil pengujiannya seperti yang ditunjukkan pada Tabel 2 dan Gambar 2.

Tabel 2. Hasil Pengujian dengan Menggunakan Metode PSO dan GA

Metode Particle Swarm Optimization (PSO)						
P_{in} (W)	u_1 (m/s)	α_1 (°)	β_1 (°)	β_2 (°)	P_{out} (HP)	η (%)
19599	14,8431	15,0000351	31,0027463	28,9974	17691,0899	90,2653
Metode Genetic Algorithm (GA)						
P_{in} (W)	u_1 (m/s)	α_1 (°)	β_1 (°)	β_2 (°)	P_{out} (HP)	η (%)
19599	14,8431	15,0000351	31,0027463	29,0203123	17689,1083	90,2552



Gambar 2. Hasil Simulasi Optimisasi Daya Output Menggunakan Metode (kiri) PSO dan (kanan) GA

Berdasarkan Tabel 2 dapat diketahui bahwa nilai α_1 , β_1 , dan β_2 yang didapatkan untuk menghasilkan daya keluaran maksimum dengan menggunakan metode PSO yaitu secara berurutan sebesar 15,0000351°; 31,0027463°; dan 28,9974°. Kemudian, dari variasi ketiga sudut tersebut didapatkan daya keluaran maksimum sebesar 17691,0899 HP dan efisiensi daya sebesar 90,2653%. Sedangkan, nilai α_1 , β_1 , dan β_2 yang didapatkan dengan menggunakan metode GA yaitu secara berurutan sebesar 15,0000351°; 31,0027463°; dan 29,0203123. Kemudian, dari variasi ketiga sudut tersebut didapatkan daya keluaran maksimum sebesar 17689,1083HP dan efisiensi daya sebesar 90,2552%.

Pada Gambar 2 dapat diketahui bahwa dengan menggunakan metode PSO didapatkan daya keluaran maksimum pada iterasi pertama dan simulasi berhenti setelah dilakukannya pengujian sebanyak 21 iterasi. Sedangkan, dengan menggunakan metode GA didapatkan daya keluaran maksimum pada generasi ke-42 dan simulasi berhenti pada generasi ke-51.

Berdasarkan hasil simulasi diatas dapat diketahui dengan menggunakan metode PSO didapatkan daya keluaran maksimum lebih besar dibandingkan dengan menggunakan metode GA. Perbedaan daya keluaran yang dihasilkan tidak begitu jauh, hal ini dikarenakan perbedaan tersebut terletak pada sudut β_2 . Sudut β_2 yang didapatkan dengan menggunakan metode GA lebih besar dibandingkan menggunakan metode PSO. Sehingga, dapat disimpulkan bahwa semakin besar sudut β_2 maka daya keluaran maksimum yang dihasilkan akan lebih kecil atau dapat dikatakan bahwa sudut β_2 berbanding terbalik dengan daya keluaran. Selain itu, perbedaan yang didapatkan diantara metode PSO dan GA, yaitu banyaknya iterasi pengujian yang dilakukan. Pada metode PSO banyaknya iterasi yang dihasilkan sebanyak 21 iterasi. Sedangkan, dengan metode GA banyaknya iterasi yang dihasilkan sebanyak 51 iterasi. Sehingga, dapat disimpulkan bahwa dengan menggunakan metode PSO akan lebih cepat dalam menentukan daya keluaran yang maksimal.

4. KESIMPULAN DAN SARAN

Penggunaan metode optimasi Particle Swarm Optimization (PSO) dan Genetic Algorithm (GA) dalam mencari nilai maksimum daya keluaran dari turbin air banki memiliki hasil yang tidak jauh berbeda. Nilai daya keluaran yang didapatkan menggunakan metode pengujian PSO yaitu 17691,0899 HP dan nilai daya keluaran yang didapatkan dengan menggunakan metode GA yaitu 17689,1083 HP. Sedangkan, untuk efisiensi daya dari turbin air dengan menggunakan metode PSO dan GA didapatkan secara berurutan yaitu 90,2653% dan 90,2552%. Pada pengujian menggunakan metode PSO program melakukan iterasi pengujian sebanyak 21 kali, sedangkan pada pengujian menggunakan metode GA program melakukan iterasi pengujian sebanyak 51 kali. Sehingga, dapat disimpulkan bahwa untuk menghitung efisiensi yang optimal dengan memaksimalkan daya keluaran dari turbin air banki akan lebih efisien menggunakan metode optimasi PSO dibandingkan dengan menggunakan metode GA. Hal ini dikarenakan, dengan menggunakan metode PSO, nilai daya keluaran dan efisiensi turbin yang dihasilkan lebih besar dan waktu pengujian yang lebih cepat dibandingkan dengan menggunakan metode GA.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] P. Nema, R. K. Nema, and S. Rangnekar, "A current and future state of art development of hybrid energy system using wind and PV-solar: A review," *Renew. Sustain. Energy Rev.*, vol. 13, no. 8, pp. 2096–2103, 2009.
- [2] R. Radhika, R. Firmansyah, and W. Hatmoko, "Perhitungan ketersediaan air permukaan di Indonesia berdasarkan data satelit," *J. Sumber Daya Air*, vol. 13, no. 2, pp. 115–130, 2018.

-
- [3] L. Jasa, "Mengatasi krisis energi dengan memanfaatkan aliran pangkung sebagai sumber pembangkit listrik alternatif," *Teknol. Elektro*, vol. 9, no. 2, pp. 182–190, 2010.
 - [4] V. Sammartano, M. Sinagra, P. Filianoti, and T. Tucciarelli, "A Banki--Michell turbine for in-line water supply systems," *J. Hydraul. Res.*, vol. 55, no. 5, pp. 686–694, 2017.
 - [5] L. K. Wardhana, O. Rizky, R. Ibnawati, J. R. Syahri, and others, "Modification of blade profile the banki water turbine to increase power," in *Proceedings of the 6th International Conference and Exhibition on Sustainable Energy and Advanced Materials*, 2020, pp. 505–518.
 - [6] L. Jasa, I. P. Ardana, A. Priyadi, and M. H. Purnomo, "Investigate curvature angle of the blade of Banki's water turbine model for improving efficiency by means particle swarm optimization," *Int. J. Renew. Energy Res*, vol. 7, no. 1, pp. 170–177, 2017.
 - [7] 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.
 - [8] M. Juneja and S. K. Nagar, "Particle swarm optimization algorithm and its parameters: A review," in *2016 International Conference on Control, Computing, Communication and Materials (ICCCCM)*, 2016, pp. 1–5.
 - [9] 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.
 - [10] 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.
 - [11] 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.
 - [12] 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.
 - [13] B. P. Jocom, N. Hidayat, and P. P. Adikara, "Penerapan Genetic Algorithm untuk Optimasi Peningkatan Laba Persediaan Produksi Pakaian," *J. Pengemb. Teknol. Inf. dan Ilmu Komput. e-ISSN*, vol. 2548, p. 964X, 2018.
 - [14] L. Paranduk, A. Indriani, M. Hafid, and S. Suprianto, "Sistem Informasi Penjadwalan Mata Kuliah Menggunakan Algoritma Genetika Berbasis Web," in *Seminar Nasional Aplikasi Teknologi Informasi (SNATI)*, 2018.
 - [15] H. Nugroho, C. Aditya, and S. Nungsizu, "Penerapan Metode Genetic Alghorithm untuk Meminimalkan Biaya Perawatan Sistem Pembangkit Energi Hibrid Solar Panel dan Turbin Angin," *ENERGI \& KELISTRIKAN*, vol. 13, no. 2, pp. 172–177, 2021.
 - [16] 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.
 - [17] 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.