

Optimisasi Rute Pengiriman Produk Usaha Mikro Kecil dan Menengah Menggunakan Metode *Metaheuristik Particle Swarm Optimization*

Nur Annisa Venny Meitasari*, Antono Adhi

Program Studi Teknik Industri, Fakultas Teknologi Informasi dan Industri, Universitas Stikubank Semarang

*Koresponden email: nurannisavenny.28@gmail.com

Diterima: 5 Januari 2025

Disetujui: 14 Januari 2025

Abstract

This study aims to optimise the delivery routes of Cripang Bu Fitri, a Small and Medium Enterprise (SME) in Semarang City, using the Particle Swarm Optimization (PSO) metaheuristic method. The main problem is the high demand from partners and the use of intuitive routes by salesmen, resulting in inefficient travel distances and operational costs. This study applies PSO to solve the Traveling Salesman Problem (TSP), focusing on reducing delivery distance and time. The data obtained was processed using the Visual Basic 6.0 application. The results of the PSO calculations show that the newly generated route is more efficient than the original route. The total distance for the new route is 100550 metres compared to 115950 metres for the original route, resulting in a 13% improvement in efficiency. This result highlights the effectiveness of PSO in reducing operational costs and delivery times, thereby improving the competitiveness of SMEs. The use of this method is recommended for logistics optimisation in other SME sectors.

Keywords: *particle swarm optimization, traveling salesman problem, smes, metaheuristics, efficiency, optimization*

Abstrak

Penelitian ini bertujuan untuk mengoptimalkan rute pengiriman produk UMKM Cripang Bu Fitri di Kota Semarang, menggunakan metode metaheuristik Particle Swarm Optimization (PSO). Masalah utama yang dihadapi adalah tingginya permintaan dari mitra dan penggunaan rute intuitif oleh salesman, yang mengakibatkan jarak tempuh dan biaya operasional tidak efisien. Studi ini menerapkan PSO untuk menyelesaikan *Traveling Salesman Problem* (TSP), fokus pada pengurangan jarak dan waktu pengiriman. Data yang didapat diproses menggunakan aplikasi Visual Basic 0.6. Hasil perhitungan PSO menunjukkan bahwa rute baru yang dihasilkan lebih efisien dibanding dengan rute awal. Dengan total jarak pada rute baru sebesar 100550 meter dan 115950 meter untuk rute awal, menghasilkan efisiensi sebesar 13%. Penemuan ini menegaskan efektivitas PSO dalam mengurangi biaya operasional dan waktu pengiriman, serta meningkatkan daya saing UMKM. Penerapan metode ini direkomendasikan untuk optimalisasi logistik di sektor UMKM lain.

Kata Kunci: *particle swarm optimization, traveling salesman problem, umkm, metaheuristik, efisiensi, optimalisasi*

1. Pendahuluan

Usaha keripik pangsit Cripang Bu Fitri merupakan salah satu UMKM di Kota Semarang yang memproduksi makanan ringan bertekstur renyah yang sangat diminati oleh masyarakat, khususnya anak-anak dan remaja. Dalam pendistribusiannya, usaha ini mengandalkan seorang salesman untuk mendistribusikan barang ke 15 mitra yang tersebar di berbagai lokasi yang ada di Kota Semarang. Tugas salesman tersebut tidak hanya mengantarkan barang kepada mitra, tetapi juga memiliki tanggung jawab terhadap pekerjaan utamanya. Salesman harus membagi waktu antara tugas pengiriman dengan pekerjaan utamanya di sebuah pabrik. Kondisi ini menimbulkan tantangan tersendiri dalam pengelolaan waktu dan rute pengiriman, terlebih permintaan dari beberapa mitra yang datang secara bersamaan mengharuskan salesman merancang strategi pengiriman yang efektif dan efisien [1]. Tingginya permintaan barang menuntut salesman untuk menyusun strategi pengiriman yang efektif dan efisien dalam hal jarak tempuh dan waktu pengiriman [2]. Hal tersebut menjadi permasalahan utama yang dihadapi UMKM Cripang Bu Fitri, sulitnya menentukan rute pengiriman dengan jarak tempuh minimum yang dapat memenuhi kebutuhan mitra dalam sekali waktu. Selama ini rute yang digunakan berdasarkan pada intuisi dan

pengalaman pribadi salesman, sehingga perlu dioptimalkan lebih lanjut untuk menghemat waktu, tenaga, serta biaya operasional.

Permasalahan rute pengiriman ini termasuk permasalahan *Traveling Salesman Problem* (TSP), yaitu salah satu dari masalah optimisasi kombinatorial yang sering digunakan sebagai acuan untuk menguji performa algoritma optimasi. TSP melibatkan pencarian rute perjalanan seorang salesman yang harus mengunjungi sejumlah lokasi tertentu dan kembali ke titik awal dengan tujuan meminimalkan total jarak perjalanan. TSP telah banyak diterapkan dalam berbagai bidang seperti logistik, transportasi, jaringan komputer, dan lainnya [3]. TSP diklasifikasikan sebagai masalah *NP-hard*, artinya tidak ada algoritma yang dapat memberikan solusi optimal dalam waktu polinomial untuk semua kasus [4]. Karena itu, pendekatan heuristik dan metaheuristik telah dikembangkan untuk menemukan solusi yang mendekati optimal dengan waktu komputasi yang lebih cepat.

Pendekatan metaheuristik telah menunjukkan keefektifan dalam menyelesaikan masalah TSP[5]. Metaheuristik adalah metode berbasis algoritma yang mampu memberikan solusi mendekati optimal untuk permasalahan kompleks yang tidak dapat diselesaikan secara deterministik. Berbagai algoritma metaheuristik, seperti *Genetic Algorithm* (GA), *Ant Colony Optimization* (ACO), dan *Particle Swarm Optimization* (PSO) telah banyak diterapkan untuk menemukan solusi optimal atau mendekati optimal pada berbagai kasus TSP [6]. Di antara metode tersebut, PSO menjadi salah satu algoritma yang paling populer karena kemampuannya untuk menemukan solusi optimal secara efisien melalui interaksi antar partikel dalam ruang pencarian[7]. Algoritma tersebut digunakan untuk menyelesaikan permasalahan metaheuristik dengan populasi yang memiliki beberapa n partikel [8]

PSO, terinspirasi oleh perilaku sosial kawanan burung yang sedang mencari makan, menjadi salah satu algoritma metaheuristik yang paling populer karena kemampuannya untuk mengidentifikasi solusi optimal secara efisien melalui interaksi partikel dalam ruang pencarian [7]. Dalam PSO, populasi partikel yang disebut "*swarm*" bergerak dalam ruang pencarian untuk menemukan solusi optimal berdasarkan pengalaman terbaik individu (*pBest*) dan kelompok (*gBest*) [9]. PSO menawarkan keunggulan berupa fleksibilitas penerapan, waktu komputasi yang relatif singkat, dan kemampuan untuk menemukan solusi berkualitas tinggi bahkan untuk masalah dengan ruang pencarian yang luas [10]. Penggunaan PSO dalam kasus ini dapat membantu mengidentifikasi rute pengiriman yang paling optimal, sehingga menghemat waktu dan biaya[11]. Permintaan yang tinggi dari mitra menuntut seorang salesman untuk dapat merancang rute pengiriman yang efektif dan optimal[12]. Dengan menggunakan metode metaheuristik seperti PSO, terdapat potensi untuk mengurangi jarak tempuh, waktu pengiriman, dan biaya operasional sehingga mampu memenuhi kebutuhan mitra secara lebih efisien [13].

Penelitian ini bertujuan untuk mencari dan menentukan rute pengiriman tercepat agar salesman dapat mendistribusikan barang sesuai dengan kebutuhan konsumen secara lebih efektif dan efisien. Penelitian berfokus pada perhitungan jarak minimum yang dapat ditempuh oleh seorang salesman dalam mendistribusikan keripik pangsit dari UMKM Cripang Bu Fitri dengan menggunakan metode metaheuristik *Particle Swarm Optimization* (PSO). Diharapkan penelitian ini akan menghasilkan hasil berupa jarak paling optimal atau bernilai minimum sehingga mampu menghemat waktu pengiriman[11]. Selain itu, tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengoptimalkan waktu pengiriman sehingga dapat meminimalkan keterlambatan dalam pendistribusian barang, sehingga kebutuhan konsumen dan mitra dapat terpenuhi secara efektif [12].

2. Metode Penelitian

Penelitian ini berfokus pada analisis data numerik yang mencakup jarak antar lokasi mitra, total jarak tempuh, serta efisiensi rute pengiriman dengan menggunakan metode metaheuristik *Particle Swarm Optimization* (PSO) untuk menyelesaikan permasalahan optimisasi rute pengiriman yang terjadi pada UMKM Cripang Bu Fitri. Permasalahan ini merupakan bagian dari *Traveling Salesman Problem* (TSP), yang berfokus pada rute pencarian optimal untuk mengunjungi sejumlah titik dengan jarak tempuh minimum. Dalam proses pengumpulan data, penelitian ini mengandalkan studi literatur yang dilakukan melalui pencarian referensi dari berbagai sumber jurnal ilmiah dan publikasi lain yang relevan. Selain itu, penelitian ini juga menggunakan data lapangan yang diperoleh melalui observasi dan wawancara dengan salesman Cripang Bu Fitri untuk mendukung perancangan dan penerapan metode optimisasi tersebut.

Traveling Salesman Problem (TSP)

Traveling Salesman Problem (TSP) adalah salah satu masalah optimasi kombinatorial yang memiliki fokus pada pencarian rute terpendek untuk seorang salesman dalam mengunjungi sejumlah titik tertentu dan kembali ke titik awal. Permasalahan ini memiliki banyak aplikasi praktis, seperti dalam distribusi barang, perencanaan logistik, dan lainnya. Sebagai salah satu contoh dari masalah *NP-Hard*, TSP tidak

memiliki algoritma deterministik yang dapat menyelesaikan semua kasus dalam waktu polinomial. Istilah *NP-Hard* merujuk pada keterbatasan algoritma untuk menyelesaikan masalah dengan cepat seiring meningkatnya kompleksitas kasus [14][15].

TSP sering digunakan sebagai tolok ukur dalam mengembangkan berbagai algoritma optimasi. Sejak dicatat dalam sejarah optimasi kombinatorial pada tahun 1930, banyak metode yang dirancang untuk menyelesaikannya. Salah satu pendekatan modern yang populer adalah algoritma metaheuristik seperti *Particle Swarm Optimization* (PSO). Dengan menggunakan pendekatan berbasis swarm intelligence, PSO membantu menemukan rute optimal dengan mengeksplorasi dan mengeksploitasi ruang pencarian secara efisien [16]

Metaheuristik

Metaheuristik adalah pendekatan berbasis heuristik yang digunakan untuk menyelesaikan masalah optimasi yang kompleks. Algoritma ini dirancang untuk mengatasi kendala yang sulit atau tidak mungkin diselesaikan dengan metode konvensional. Prinsip utamanya adalah memanfaatkan strategi eksplorasi global dan eksploitasi lokal untuk menemukan solusi berkualitas tinggi tanpa terikat pada struktur masalah tertentu [17]

Metaheuristik sering kali terinspirasi dari fenomena alam, seperti evolusi genetik atau perilaku hewan, contohnya adalah *Genetic Algorithm* (GA), *Particle Swarm Optimization* (PSO), dan *Ant Colony Optimization* (ACO). Keunggulan utama pendekatan metaheuristik adalah fleksibilitasnya dalam menangani berbagai jenis masalah optimasi kombinatorial tanpa perlu banyak penyesuaian pada metode dasar. Misalnya, PSO terinspirasi oleh perilaku sosial kawanan burung dalam mencari makanan [18]

Salah satu aspek penting dalam penerapan metaheuristik adalah kemampuan untuk mengeksplorasi ruang solusi global secara menyeluruh, sekaligus mengeksploitasi informasi lokal untuk meningkatkan kualitas solusi. Hal ini memungkinkan metaheuristik untuk memberikan hasil yang mendekati optimal meskipun tidak selalu mencapai solusi optimal secara matematis [10].

Particle Swarm Optimization (PSO)

Particle Swarm Optimization (PSO) adalah algoritma optimasi yang dikembangkan pada tahun 1995 oleh Kennedy dan Eberhart. PSO didasarkan pada analogi perilaku sosial kawanan burung yang mencari makanan secara kolektif. Dalam PSO, setiap solusi diwakili oleh sebuah partikel yang bergerak dalam ruang pencarian, dan pergerakan ini dipengaruhi oleh pengalaman individu (*pBest*) serta pengalaman kelompok (*gBest*) [9].

PSO dimulai dengan pembangkitan populasi partikel secara acak. Selama iterasi, partikel diperbarui posisinya berdasarkan kecepatan, yang dihitung menggunakan faktor inersia, kognitif, dan sosial. Keunggulan PSO adalah kemampuannya untuk menyelesaikan masalah optimasi dalam waktu relatif singkat dengan hasil yang mendekati optimal. PSO juga memiliki parameter yang dapat disesuaikan, seperti jumlah partikel, inertia weight, serta faktor kognitif dan sosial, yang semuanya berperan dalam menentukan efisiensi algoritma [10].

Dalam aplikasi seperti TSP, PSO memungkinkan identifikasi rute optimal dengan menggabungkan interaksi antarpartikel dalam ruang pencarian. Selain itu, PSO lebih sederhana dibandingkan algoritma lain seperti GA, karena tidak memerlukan operasi genetik seperti crossover dan mutasi [19]. PSO juga telah digunakan secara luas untuk menyelesaikan berbagai masalah optimasi, dari perencanaan rute hingga desain sistem energi.

3. Hasil dan Pembahasan

Data Jarak

Telah teridentifikasi terdapat 15 mitra yang tersebar di Kota Semarang dan beberapa titik tambahan yang mempengaruhi rute pengiriman. Pengumpulan data dilakukan melalui observasi langsung dan wawancara dengan narasumber, yaitu salesman Cripang Bu Fitri. Hal ini bertujuan untuk memastikan bahwa data yang diperoleh akurat dan relevan untuk optimasi rute. Dengan memperhatikan kompleksitas rute yang harus dilalui, data ini menjadi dasar utama dalam mengaplikasikan metode PSO.

Tabel 1. Data Jarak

Data Jarak Antar Mitra (Km)																		
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
1	0	0,45	1,2	12,1	13,6	14,2	17,3	18,4	20,2	19,8	20	14,5	22,4	15,9	2,2	5,1	18	13,8
2	0,45	0	0,8	12,4	13,5	14,1	17,3	18,4	20,5	19,7	19,9	14,5	20,9	15,9	1,7	5,1	17,9	13,8
3	1,2	0,8	0	13,2	14,6	15,1	18,5	19,3	21,5	20,7	20,9	15,4	21,9	16,9	9,5	6,1	18,9	14,8
4	12,1	14,2	14	0	2,8	6,5	6,5	7,6	9,8	8,9	9,1	3,7	9,4	15,4	13,9	10,2	7,2	3
5	13,6	16,2	15,3	2,7	0	2,5	5	6,3	7,6	6,8	7	2,4	10,6	18,5	15,2	11,5	5,9	2
6	16,6	16,9	16,1	5,8	3,4	0	3,4	4,6	5,7	6,9	7,1	0,75	9	19,3	16	12,3	4,2	4,4
7	18,8	19	18,3	5,6	5,5	3,7	0	1,9	4	5,5	5,7	2,6	7,3	19,3	17,3	14,5	1,5	3,4
8	18,8	20,3	20	7,5	7	4,9	2,5	0	2,1	3,9	4,1	4,3	8,5	21	18,4	16,2	0,4	6,6
9	21,3	21,5	20,9	8,2	7,5	5,6	3,8	1,8	0	2,6	2,8	5,5	10,7	24,1	20,6	18,5	2,5	7,6
10	23	22,5	22,5	9,1	7,6	6,4	4,7	3,4	2,9	0	0,2	6,3	12	24,9	19,8	17,7	4,2	9
11	23,2	23,5	22,7	9,3	7,8	6,6	4,9	3,6	3,1	0,2	0	6,5	12,2	25,1	20	17,9	4,4	9,2
12	16,4	16,7	15,9	3,3	3,2	1	3,5	4,6	6,4	7,6	7,8	0	8,2	19,1	14,5	12,4	3,8	8
13	25	24,1	23,3	9,1	10,6	9,1	8,2	8,5	10,5	12,9	13,1	7,9	0	20,1	20,9	18,9	8	11,2
14	16,8	17	16,3	15,4	18,4	19	22,2	23,2	25,4	24,6	24,8	19,3	19,6	0	15,9	12,7	20,6	18,7
15	0,6	0,85	1,6	12,3	13,6	14,2	18,2	19,9	20,8	21,6	21,8	15,8	23,2	16,2	0	8,3	18,4	13,8
16	7	7,3	6,6	10,2	11,6	12,1	15,3	16,3	17,1	17,9	18,1	12,1	19,5	12,7	5,2	0	15,7	11,7
17	20,1	20,3	19,6	6,9	6,8	4,9	2,1	0,4	2,2	3,8	4	4,2	8	22,8	19,9	15,9	0	7,2
18	16	16,3	1,55	2,9	1,4	3,4	4,4	6	8,2	8,6	8,8	4,2	11,6	18,7	15,4	9,7	7,8	0

Sumber : Salesman Cripang Bu Fitri

Perhitungan Rute Pilihan Salesman

Salesman harus membagi waktu secara terstruktur dalam pemilihan rute dengan mempertimbangkan prioritas tujuan, salesman membagi rute menjadi tiga sesi pengiriman.

Tabel 2. Sesi Pengiriman

Waktu Pengiriman	Jumlah Mitra
Pagi (sebelum bekerja ke pabrik)	4
Siang (jam istirahat pabrik)	6
Sore (setelah pulang dari pabrik)	5

Sumber : Salesman Cripang Bu Fitri

Salesman saat ini menggunakan rute yang ditentukan berdasarkan intuisi dan pengalaman pribadi. Rute ini melibatkan perjalanan ke 15 mitra, yang dibagi dalam tiga sesi pengiriman. Urutan rute yang digunakan adalah : **1-2-3-15-16-18-17-8-9-10-11-6-7-17-18-5-12-4-13-14-1**, dengan total jarak tempuh sebesar **115.950 meter**. Dalam analisis tersebut, menunjukan rute yang digunakan belum sepenuhnya optimal, sehingga perlu dilakukan pendekatan sistematis menggunakan PSO.

Tabel 3. Rute dan Jarak Pengiriman

Rute	Jarak (meter)
1-2	450
2-3	800
3-15	9500
15-16	8300
16-18	11700
18-17	7800
17-8	400
8-9	2100
9-10	2600
10-11	200
11-6	6600
6-7	3400
7-17	1500
17-18	7200

Rute	Jarak (meter)
18-5	1400
5-12	2400
12-4	3300
4-13	9400
13-14	20100
14-1	16800
Total Jarak	115950

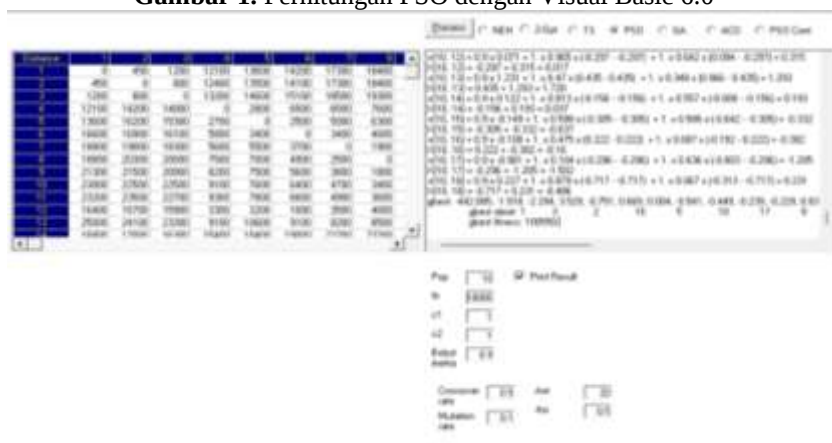
Sumber : Salesman Cripang Bu Fitri

Perhitungan PSO

Dalam proses pencarian solusi optimal menggunakan PSO, perhitungan jarak tidak hanya berfungsi sebagai informasi tentang jarak partikel dan ruang pencarian, tetapi berperan penting dalam menentukan rute optimal. Pada analisis sebelumnya, rute yang digunakan oleh salesman Cripang Bu Fitri belum optimal, karena jarak tempuh yang masih terlalu jauh. Untuk mengatasi masalah tersebut, dilakukan perancangan rute baru dan menganalisis hasil menggunakan PSO agar lebih optimal. Perhitungan PSO dilakukan menggunakan program Visual Basic 6.0 dengan beberapa parameter.

1. Inertia Weight (W) : 0.9
2. Koefisien Kognitif (C1) : 1
3. Koefisien Sosial (C2) : 1
4. Jumlah Partikel : 5
5. Jumlah iterasi : 10000

Gambar 1. Perhitungan PSO dengan Visual Basic 6.0



Sumber : Visual Basic 6.0

Perhitungan optimasi rute pengiriman dengan PSO yang dilakukan menggunakan aplikasi Visual Basic 6.0 menunjukkan rute baru berurutan **1-3-2-16-5-18-17-8-9-10-11-7-13-17-18-6-12-4-14-15-1** menghasilkan total jarak tempuh sebesar **100550** meter.

Perhitungan Efisiensi

Perhitungan rute pengiriman awal yang biasa dilalui salesman dengan rute pengiriman baru yang telah dioptimalkan menggunakan PSO menunjukkan evaluasi efisiensi hasil yang signifikan. Rute semula memberikan total jarak sebesar 115950 meter. Sedangkan rute hasil perhitungan PSO menunjukkan total jarak sebesar 100550 meter. Formula 1 memperlihatkan efisiensi hasil.

$$\text{Efisiensi} : \frac{115950 - 100550}{115950} \times 100\% = 13\% \quad (1)$$

Hasil analisis menunjukkan rute baru yang dihasilkan menggunakan PSO lebih efisien dibanding rute semula dengan efisiensi sebesar 13%. Dengan demikian, optimasi rute tidak hanya menghasilkan rute yang lebih pendek tetapi juga memiliki potensi untuk mengurangi waktu perjalanan dan biaya operasional. Menunjukkan efektivitas PSO dalam menentukan solusi optimal untuk masalah rute pengiriman dalam konteks UMKM, terutama pada Cripang Bu Fitri.

4. Kesimpulan

Hasil penelitian menunjukkan bahwa metode metaheuristik PSO efektif dalam mengoptimalkan rute pengiriman untuk UMKM Cripang Bu Fitri dengan rute baru 1-3-2-16-5-18-17-8-9-10-11-7-13-17-18-6-12-4-14-15-1 terbukti lebih efisien dibanding rute awal dengan peningkatan sebesar 13%. Hal ini menunjukkan pengurangan jarak tempuh yang signifikan, sehingga dapat menghemat waktu pengiriman dan biaya operasional.

Penggunaan PSO juga membuktikan kemampuan dalam menyelesaikan masalah TSP, dengan menghasilkan solusi optimal berdasarkan parameter yang telah ditentukan. PSO berhasil mengeksplorasi ruang pencarian secara efisien dan memberikan solusi yang lebih baik dibandingkan pendekatan intuitif. Penerapan PSO memberikan dampak positif bagi pemilik maupun salesman UMKM Cripang Bu Fitri, dengan menghemat biaya operasional dan waktu pengiriman selama proses distribusi berlangsung. Sehingga meningkatkan daya saing UMKM terkhususnya UMKM Cripang Bu Fitri terhadap pasar.

5. Referensi

- [1] S. M. d. Oliveira, L. C. Bezerra, T. Stützle, M. Dorigo, E. F. Wanner dan S. R. Souza, "A computational study on ant colony optimization for the traveling salesman problem with dynamic demands," *Computers & Operations Research*, vol. 135, pp. 1-25, 2021.
- [2] R. Juanda, M. Risky dan R. N. Ilham, "The Influence Of Growth Of Micro Small And Medium Enterprises (UMKM) And Unemployment On Growth Indonesian Economy," *International Journal of economic, Business, Accounting, Agriculture, Management and Sharia Administration (IJEBA)*, vol. 3, no. 1, pp. 188-202, 2023.
- [3] P. C. Pop, O. Cosma, C. Sabo dan P. C. Sitar, "A comprehensive survey on the generalized traveling salesman problem," *European Journal of Operational Research*, vol. 314, no. 2024, pp. 819-835, 2023.
- [4] V. Shinkarenko, S. Nezdoyminov, S. Galasyuk dan L. Shynkarenko, "Optimization of the tourist by solving the problem of a salesman," *Journal of Geology Geography and Geoecology*, vol. 29, no. 3, pp. 572-579, 2020.
- [5] M. H. Sulaiman, Z. Mustaffa, M. M. Saari dan M. S. Jadin, "A simulation-metaheuristic approach for finding the optimal allocation of the battery energy storage system problem in distribution networks," *Decision Analytics Journal*, vol. 100208, no. 2023, pp. 1-14, 2023.
- [6] S. A. Gorji, "Challenges and opportunities in green hydrogen supply chain through metaheuristic optimization," *Journal of Computational Design and Engineering*, vol. 10, no. 3, p. 1143–1157, 2023.
- [7] R.-z. Zheng, Y. Zhang dan K. Yang, "A transfer learning-based particle swarm optimization algorithm for travelling salesman problem," *Journal of Computational Design and Engineering*, vol. 9, no. 3, p. 933–948, 2022.
- [8] G. Papazoglou dan P. Biskas, "Review and Comparison of Genetic Algorithm and Particle Swarm Optimization in the Optimal Power Flow Problem," *Energies*, vol. 16, no. 1152, pp. 1-26, 2023.
- [9] H.-Q. Xu, S. Gu, Y.-C. Fan, X.-S. Li, Y.-F. Zhao, J. Zhao dan J. Wang, "A strategy learning framework for particle swarm optimization algorithm," *Information Sciences*, vol. 619, pp. 126-152, 2023.
- [10] D. Saputra, W. Irmayani, D. Purwaningtyas, J. Sidauruk dan B. Gurbuz, "A Comparative Analysis of C4.5 Classification Algorithm, Naïve Bayes and Support Vector Machine Based on Particle Swarm Optimization (PSO) for Heart Disease Prediction," *International Journal of Advances in Data and Information Systems*, vol. 2, no. 2, pp. 84-95, 2021.
- [11] A. T. Kamil, H. M. Saleh dan I. H. ABD-ALLA, "A Multi-Swarm Structure for Particle Swarm Optimization: Solving the Welded Beam Design Problem," *Journal of Physics: Conference Series*, vol. 1804, pp. 1-9, 2021.
- [12] C. M. Aikateriniadis, I. Lamprinos dan P. S. Georgilakis, "Particle swarm optimization in residential demand-side management: A review on scheduling and control algorithms for demand response provision," *Energies*, vol. 15, no. 6, pp. 1-26, 2022.
- [13] A. Adhi, B. Santoso dan N. Siswanto, "Hybrid Metaheuristics for Solving Vehicle Routing Problem in Multi Bulk Product Shipments with Limited Undedicated Compartmen," *International Journal of Intelligent Engineering and Systems*, vol. 14, no. 5, pp. p. 320-335, 2021.

-
- [14] A. Adhi, B. Santosa dan N. Siswanto, "A New Metaheuristics for Solving Traveling Salesman Problem: Partial Comparison Optimization," Bangkok, 2019.
- [15] T. Sahai, "Dynamical Systems Theory and Algorithms for NP-hard Problems," *Raytheon Technologies Research Center*, vol. 304, pp. 183-206, 2020.
- [16] H. Y. Angmalisang dan S. Anam, "Leaders And Followers Algorithm For Traveling Salesman Problem," *Barekeng: Journal of Mathematics and Its Applications*, vol. 18, no. 1, pp. 0449-0456, 2024.
- [17] M. Han, Z. Du, K. F. Yuen, H. Zhu, Y. Li dan Q. Yuan, "Walrus optimizer: A novel nature-inspired metaheuristic algorithm," *Expert Systems with Applications*, vol. 239, 2024.
- [18] S. U. Seçkiner dan Ş. Y. Yüzügüldü, "A new health-based metaheuristic algorithm: cholesterol algorithm," *IJIO (International Journal of Industrial Optimization)*, vol. 4, no. 2, pp. 115-130, 2023.
- [19] Y. Fan, P. Wang, A. A. Heidari, H. Chen, H. Turabieh dan M. Mafarja, "Random Reselection Particle Swarm Optimization for Optimal Design of Solar Photovoltaic Modules," *Energy*, vol. 239, 2021.