

Implementasi Algoritma *Artificial Bee Colony* dalam Penentuan Rute Terpendek Perusahaan Ekspedisi

Ni Wayan Windayani^{a1}, Cokorda Rai Adi Pramatha^{b2}

^aProgram Studi Informatika, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Udayana
Badung, Bali, Indonesia
¹niwayanwindayani@gmail.com

^bNet-Centric Computing Laboratory, Universitas Udayana
Badung, Bali, Indonesia
²cokorda@unud.ac.id

Abstract

Delivery service is a promised business so many new companies are opening this business. However, it is not uncommon for parcel delivery to be delayed. From the field of Informatics, determining the courier route is included in the Traveling Salesman Problem. The TSP problem can be solved using several algorithms, one of which is the Artificial Bee Colony or ABC algorithm. Artificial Bee Colony algorithm adapted from the behavior of bee colonies in search of food. In this study, primary data is used in the form of destination points in the Bangli sub-district area of PT Global Jet Express Bangli delivery of packages using 20 destination points. The results of this system showed that the three parameters tested, namely the number of bees, the maximum limit and the maximum iteration did not show significant changes for the best distance. In this study, the shortest distance obtained using the Artificial Bee Colony algorithm is the number of bees is 10, the limit is 20 and the maximum iteration is 40 with a value of 38,42 km.

Keywords: *Artificial Bee Colony, Travelling Salesman Problem, Shortest Path, Distance Optimization, Shipping Company*

1. Pendahuluan

Perkembangan teknologi membuat pola kehidupan masyarakat menjadi lebih modern. Kemajuan teknologi memang sangat penting untuk kehidupan manusia zaman sekarang [1]. Berbagai bidang kehidupan mendapatkan manfaat dari keberadaan teknologi, tidak terkecuali jasa pengiriman barang atau ekspedisi. Jasa pengiriman barang merupakan bisnis yang menjanjikan sehingga banyak perusahaan baru yang membuka usaha ini [2].

Mengenai pengiriman barang yang selalu meningkat karena semakin banyaknya pembelanjaan online baik dalam bentuk paket, dokumen, atau parsel sehingga membutuhkan penyedia transportasi pengiriman barang yang efektif dan efisien [3]. Banyak perusahaan jasa pengiriman yang sering digunakan pada saat ini, seperti PT. Pos Indonesia, TIKI, JNE, dan lain sebagainya. Kurir memiliki peranan yang penting pada perusahaan karena kecepatan dan ketepatan pengiriman barang oleh kurir sangat mempengaruhi tingkat kepuasan pelanggan [4].

Akan tetapi, tidak jarang pengiriman paket mengalami keterlambatan. Apabila keterlambatan ini terus terjadi maka perusahaan akan mengalami kerugian baik dari internal yaitu barang dapat menumpuk di gudang maupun kerugian eksternal yaitu adanya komplain dari *customer* karena barang atau dokumen tidak sampai tepat waktu [5]. Salah satu penyebabnya karena kurir yang mengirimkan barang tidak paham dengan lokasi tujuan dan rute yang akan dilalui. Berdasarkan wawancara bersama pihak PT Global Jet Express Bangli pada 21 Maret 2022, permasalahan rute perjalanan saat pengiriman barang menjadi salah satu kendala utama yang menyebabkan keterlambatan dalam pengiriman barang. Penelitian [6] menyebutkan bahwa perlu ditentukan rute-rute perjalanan yang memang benar-benar sesuai dengan kebutuhan pengguna.

Kurir dalam menentukan rute pengiriman barang masih dilakukan secara manual, hal inilah yang seringkali menyebabkan rute yang dipilih bukan merupakan rute paling efisien.

Dari ranah bidang ilmu Informatika, penentuan rute kurir ini termasuk ke dalam permasalahan *Travelling Salesman Problem*. *Travelling Salesman Problem* (TSP) adalah gagasan dimana satu *salesman* menjelajah ke setiap bagian tertentu saja melewati semua n daerah perkotaan hanya sekali dan kembali ke daerah awal dari tempatnya dimulai [7]. Permasalahan TSP dapat diselesaikan menggunakan beberapa algoritma, salah satunya adalah algoritma *Artificial Bee Colony* atau ABC.

Pada tahun 2005, Karaboga mengusulkan algoritma *Artificial Bee Colony* yang menjadi salah satu algoritma *swarm intelligence* terbaru [8]. Algoritma *Artificial Bee Colony* diadaptasi dari perilaku koloni lebah dalam mencari makanan [9]. Pada algoritma *Artificial Bee Colony*, kemampuan koloni lebah dalam menentukan sumber makanan terdiri atas tiga kelompok yaitu *employed bee* (lebah pekerja), *onlooker bee* (lebah penjaga), dan *scout bee* (lebah pengintai). Lebah-lebah tersebut melakukan suatu fungsi untuk menentukan letak dan kualitas dari sumber makanan. Setiap sumber makanan yang satu dengan yang lainnya diingat dan dibandingkan oleh lebah, dan lokasi dengan sumber makanan yang paling optimal menjadi fungsi akhir yang dipilih [10].

Algoritma Bee Colony termasuk ke dalam kategori algoritma yang sederhana, fleksibel dan memiliki kemampuan untuk keluar dari *local minimum* dan dapat secara efisiensi digunakan untuk multimodal dan multivariable optimasi fungsi [11]. Penelitian [12] menggunakan *Algoritma Bee Colony* karena memiliki kemampuan optimasi secara efisien untuk menyelesaikan permasalahan pencarian rute terpendek.

Berdasarkan penelitian yang dilakukan sebelumnya, pada penelitian ini penulis melakukan penentuan rute terpendek pengiriman barang perusahaan ekspedisi menggunakan algoritma *Artificial Bee Colony*. Pencarian rute terpendek diawali dengan mengetahui posisi asal dan tujuan pengiriman barang. Posisi asal dan tujuan pengiriman barang yang telah diketahui akan digunakan pada proses pembangunan tur perjalanan dan pencarian rute terpendek.

2. Metode Penelitian

2.1. Data Penelitian

Pada penelitian ini menggunakan data primer berupa titik tujuan pada area kecamatan Bangli pengiriman barang PT Global Jet Express Bangli. Pengiriman barang dilakukan menggunakan sepeda motor dengan jumlah barang setiap pengiriman antara 20-80 barang untuk setiap kurirnya. Penentuan setiap lokasi ditentukan dengan menggunakan Google Earth sebagai titik tujuan dan Google Maps API untuk menentukan jarak antar titik berdasarkan *latitude* dan *longitude*. Jarak yang diperoleh akan menjadi inputan pada sistem dengan jumlah titik yang berbeda sesuai dengan tujuan pengiriman.

2.2. Tahapan Algoritma *Artificial Bee Colony*

Algoritma *Artificial Bee Colony* terinspirasi dari perilaku lebah madu untuk mencari sumber makanan. Koloni dari lebah mampu menelusuri jarak sampai lebih dari 10 km dan juga mampu bergerak ke segala arah secara simultan untuk mencari lebih dari 1 sumber makanan. Dalam mencari makanan lebah tersebut memiliki 3 pembagian kerja yang memiliki peranan penting pada setiap bagiannya, kelompok kerja tersebut yaitu [13]:

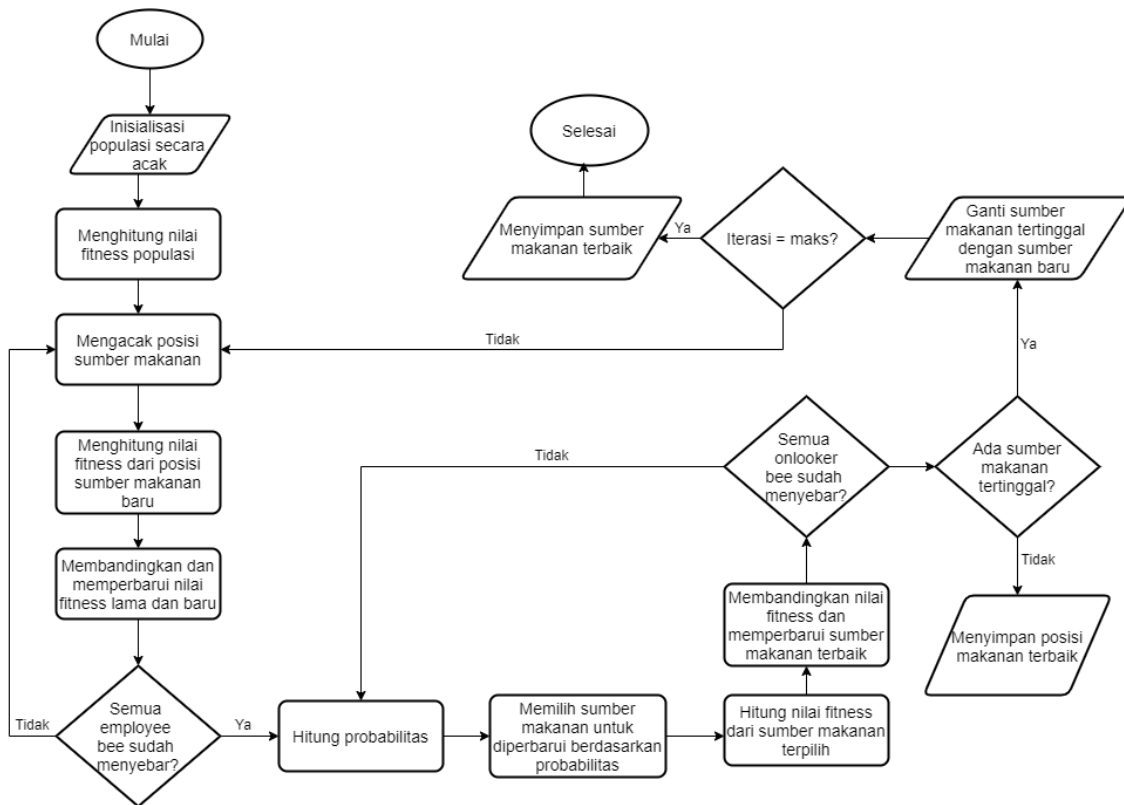
- a. *Employed bees*
Lebah yang termasuk pada kelompok lebah pekerja ini memiliki tugas untuk mencari sumber makanan pada wilayah tertentu yang pernah dikunjungi sebelumnya. Masing-masing lebah pekerja memiliki area yang berbeda dalam memperoleh sumber makanannya.
- b. *Onlooker bees*
Lebah yang termasuk pada kelompok lebah pencari mempunyai tugas yaitu mengumpulkan informasi dari setiap lebah pekerja kemudian berkumpul dengan semua

lebah pencari dan kemudian saling bertukar informasi lalu selanjutnya akan membuat keputusan berdasarkan informasi yang diberikan oleh lebah pekerja.

c. *Scout bees*

Lebah yang termasuk pada kelompok lebah pengintai bertugas untuk mencari sumber makanan pada wilayah tertentu yang sebelumnya tidak pernah dikunjungi.

Gambar 1 menunjukkan alur kerja dari algoritma *Artificial Bee Colony* dalam menentukan rute terpendek [14].



Gambar 1. Flowchart Algoritma *Artificial Bee Colony*

Adapun tahapan-tahapan dalam algoritma *Artificial Bee Colony* untuk penyelesaian masalah *Travelling Salesman Problem* adalah sebagai berikut [15]:

a. Pembentukan rute

Di dalam *Travelling Salesman Problem* untuk pembentukan rute digunakan metode *Nearest Neighbor*. Rute-rute yang terbentuk dijadikan sebagai sumber-sumber makanan sebagai acuan untuk penyelesaian *Travelling Salesman Problem* menggunakan *Artificial Bee Colony*.

b. Inialisasi

Rute yang telah terbentuk pada tahapan pertama, akan diseleksi oleh para lebah untuk menentukan rute mana yang terbaik dan merupakan solusi dari permasalahan. Pada tahap ini akan diberikan nilai percobaan dari setiap kemungkinan solusi yaitu 0. Proses inialisasi dari kemungkinan solusi (sumber makanan) dilakukan secara acak dengan menggunakan persamaan (1) berikut:

$$X_{ij} = X_{jmin} + rand(0,1) \cdot (X_{jmax} - X_{jmin}) \quad (1)$$

Dimana:

- X_{ij} = inialisasi kemungkinan solusi ke- i dengan parameter ke- j
- X_{jmin} = nilai kemungkinan solusi terkecil berdasarkan parameter j
- X_{jmax} = nilai kemungkinan solusi terbesar berdasarkan parameter j

- $rand(0,1)$ = nilai acak antara 0 sampai 1
- $i = 1..SN$, SN adalah jumlah kemungkinan solusi (sumber makanan)
- $j = 1..D$, D adalah jumlah parameter yang digunakan

c. *Employed bee phase*

Selanjutnya adalah tahap dimana para lebah memperluas nilai dari setiap kemungkinan solusi yang ada dengan menggunakan persamaan (2) di bawah ini:

$$V_{ij} = X_{ij} + \phi_{ij} \cdot (x_{kj} - x_{ij}) \quad (2)$$

Dimana:

- V_{ij} = nilai perluasan kemungkinan solusi ke- i dengan parameter j
- X_{ij} = nilai kemungkinan solusi ke- i dengan parameter j
- $i = 1..SN$, SN adalah jumlah kemungkinan solusi (sumber makanan)
- $j = 1..D$, D adalah jumlah parameter yang digunakan
- $k = 1..SN$, SN adalah jumlah parameter yang digunakan
- ϕ_{ij} = bilangan real acak antara [-1, 1]

Setelah setiap kemungkinan solusi diperluas, akan diaplikasikan *greedy selection* antara nilai kemungkinan solusi x_i dengan nilai baru hasil perluasan yaitu v_i . Jika nilai v_i lebih kecil dari nilai x_i maka nilai v_i tersebut akan dianggap sama dengan nilai x_i dan nilai percobaan tetap bernilai 0. Jika tidak, nilai x_i yang disimpan dan nilai percobaan ke- i ditambah dengan 1. Proses ini berulang sampai jumlah perluasan sama dengan jumlah sumber makanan.

d. Tahap evaluasi populasi

Dari setiap kemungkinan solusi yang diperluas, akan dibandingkan dengan nilai awal inialisasi. Selanjutnya dilakukan penghitungan kualitas dari masing-masing kemungkinan solusi menggunakan fungsi *fitness* dengan menggunakan persamaan (3) berikut:

$$fitness(x_i) = \begin{cases} \frac{1}{(1+f(x_i))}, & f(x_i) \geq 0 \\ 1 + |f(x_i)|, & f(x_i) < 0 \end{cases} \quad (3)$$

Dimana:

- $i = 1..SN$, SN adalah jumlah kemungkinan solusi (sumber makanan)

e. *Onlooker bee phase*

Setelah tahap lebah pekerja (*employed bee*) terpenuhi semua perluasan untuk setiap kemungkinan solusi dan telah dihitung masing-masing nilai probabilitasnya, informasi dari lebah pekerja akan diteruskan ke lebah penjaga (*onlooker bee*). Lebah penjaga akan menghitung nilai probabilitas berdasar informasi tersebut. Dari setiap kemungkinan solusi yang ada akan dihitung menggunakan persamaan (4) berikut:

$$P_i = \frac{fitness_i}{\sum_{i=1}^{SN} fitness_i} \quad (4)$$

Dimana:

- $fitness_i$ = nilai *fitness* solusi ke- i
- $\sum_{i=1}^{SN} fitness_i$ = jumlah dari nilai *fitness* ke- i sampai SN

Setelah nilai probabilitas dari setiap kemungkinan solusi dihitung, selanjutnya lebah penjaga memilih kemungkinan solusi selanjutnya yang akan ditelusuri oleh lebah pengintai (*scout bee*) dengan menggunakan metode *roulette-wheel*.

f. *Scout bee phase*

Dalam mengaplikasikan metode *roulette-wheel*, awalnya dipilih bilangan real secara acak antara [0,1] untuk setiap kemungkinan solusi. Jika nilai P_i lebih besar dari bilangan acak yang ditentukan, maka lebah penjaga akan menugaskan lebah pengintai untuk memperluas kembali kemungkinan solusi yang terpilih sesuai dengan tahap lebah pekerja sebelumnya. Setelah kemungkinan solusi terpilih diperluas, akan diaplikasikan *greedy selection* antara nilai kemungkinan solusi x_i dengan nilai baru hasil perluasan yaitu

v_i . Jika nilai v_i lebih kecil dari nilai x_i maka nilai v_i tersebut akan dianggap sama dengan nilai x_i . Jika tidak, nilai v_i yang disimpan dan nilai percobaan ke- i ditambah dengan 1. Proses ini berulang sampai jumlah perluasan sesuai dengan kemungkinan solusi. Setelah semua kemungkinan solusi memiliki nilai percobaan, selanjutnya dipilih kemungkinan solusi dengan nilai percobaan maksimum dan dijadikan pilihan solusi terbaik. Proses kembali menuju tahap lebah pekerja dan berulang sampai kriteria pembatas terpenuhi, kriteria pembatas adalah jumlah lebah dalam *colony*.

3. Hasil dan Pembahasan

3.1. Tahapan Penentuan Rute Terpendek

Proses algoritma *Artificial Bee Colony* dalam menentukan rute terpendek pengiriman barang perusahaan ekspedisi diimplementasikan pada bahasa pemrograman Python menggunakan *Google Colab*. Pada penelitian ini, data lokasi akan ditelusuri berdasarkan *latitude* dan *longitude* dari peta. Tabel 1 berikut ini adalah titik tujuan pengiriman barang yang akan digunakan.

Tabel 1. *Latitude* dan *Longitude* Titik Tujuan

No	Titik Tujuan	<i>Latitude</i>	<i>Longitude</i>
1	J&T Express Bangli	-8.4669182	115.3491242
2	Kantor DPRD Kabupaten Bangli	-8.4623923	115.3503725
3	SMA N 1 Bangli	-8.4625424	115.3504385
4	Samsat Kabupaten Bangli	-8.4626077	115.3514889
5	Balai Penyuluhan KB Kecamatan Bangli	-8.4405052	115.3665566
6	Masjid Agung Bangli	-8.4631824	115.35421
7	BPS Kabupaten Bangli	-8.462603	115.3539991
8	Pengadilan Negeri Bangli	-8.4643873	115.352642
9	RS BMC	-8.4647953	115.3521086
10	Kodim Bangli	-8.4655462	115.3524751
11	Yayasan Dharma Acarya Bangli	-8.46592	115.352215
12	EDSEL English Course	-8.4671244	115.3521816
13	Badan Keuangan Pendapatan dan Aset	-8.4672412	115.3524718
14	RS Bangli Medika Canti	-8.4658059	115.3514038
15	Kantor Urusan Agama (KUA) Kecamatan Bangli	-8.4683438	115.351273
16	Dinas Koperasi UMKM Tenaga Kerja Kab. Bangli	-8.4680677	115.3525709
17	Dinas Pendidikan Pemuda dan Olahraga Kab. Bangli	-8.413759	115.2206984
18	Rutan Kelas IIB Bangli	-8.4655219	115.3557759
19	Tembok Tatal House	-8.4676765	115.3557734
20	SD Negeri 1 Bebalang	-8.4706547	115.3522293

Berdasarkan *latitude* dan *longitude* dihitung jarak untuk setiap titik tujuan pengiriman barang menggunakan rumus *haversine* pada persamaan (5) berikut ini [16]:

$$Jarak = 2r \cdot \arcsin \left\{ \sqrt{\sin^2 \left(\frac{lat_1 - lat_2}{2} \right) + \cos(lat_1) \cdot \cos(lat_2) \cdot \sin^2 \left(\frac{lon_1 - lon_2}{2} \right)} \right\} \quad (5)$$

Dimana:

- lon_1 = titik *longitude* 1
- lon_2 = titik *longitude* 2
- lat_1 = titik *latitude* 1

- lat_2 = titik *latitude* 2

Berdasarkan perhitungan jarak masing-masing tujuan pengiriman barang dengan persamaan di atas, diperoleh hasil jarak pada tabel 2 di bawah ini.

Tabel 2. Jarak Masing-Masing Titik Tujuan

	1	2	3	...	20
1	0	0.5218	0.5077	...	0.538
2	0.5218	0	0.0182	...	0.9415
3	0.5077	0.0182	0	...	0.9236
⋮					
20	0.538	0.9415	0.9236	...	0

Selanjutnya digunakan beberapa parameter untuk menentukan rute terpendek, diantaranya:

- Jumlah lebah : 10
- Limit : 10
- Maksimum iterasi : 10

```
[[ 'J&T Express Bangli',
  'Pengadilan Negeri Bangli',
  'Kodim Bangli',
  'BPS Kabupaten Bangli',
  'Kantor DPRD Kabupaten Bangli',
  'EDSEL English Course',
  'Rutan Kelas IIB Bangli',
  'Masjid Agung Bangli',
  'Kantor Urusan Agama (KUA) Kecamatan Bangli',
  'Dinas Koperasi UMKM Tenaga Kerja Kab. Bangli',
  'Tembok Tatal House',
  'Badan Keuangan Pendapatan dan Aset',
  'Yayasan Dharma Acarya Bangli',
  'RS BMC',
  'RS Bangli Medika Canti',
  'SD Negeri 1 Bebalang',
  'Samsat Kabupaten Bangli',
  'SMA N 1 Bangli',
  'Balai Penyuluhan KB Kecamatan Bangli',
  'Dinas Pendidikan Pemuda dan Olahraga Kab. Bangli',
  'J&T Express Bangli'],
 40.85,
 0.03769047825447857]
```

Gambar 2. Hasil Rute Terpendek

Berdasarkan parameter yang digunakan serta jarak antar titik tujuan, maka diperoleh proses pencarian rute terpendek pengiriman barang pada gambar 2 yaitu 40,85 km dengan rute 1-8-10-7-2-12-18-6-15-16-19-13-11-9-14-20-4-3-5-17-1.

3.2. Pengujian

Proses evaluasi atau pengujian merupakan suatu proses yang cukup krusial untuk menentukan apakah sistem yang ditawarkan atau dikembangkan dapat diterima oleh pengguna atau tidak [17] [18]. Proses pengujian pada penelitian ini dilakukan dengan melakukan perubahan pada parameter jumlah lebah, limit dan maksimum iterasi. Hasil dari pengujian beberapa parameter algoritma *Artificial Bee Colony* terlihat pada tabel 3 di bawah ini:

Tabel 3. Hasil Pengujian Sistem

No	Jumlah Lebah	Limit	Maksimum Iterasi	Jarak Terbaik (km)
1	10	10	10	40,85
2	10	10	20	41,54
3	10	20	30	40,98
4	10	20	40	38,42
5	20	30	50	39,41
6	20	30	10	41,85
7	20	40	20	39,45
8	20	40	30	40,8
9	30	50	40	39,28
10	30	50	50	39,0
11	30	10	10	42,58
12	30	10	20	40,24
13	40	20	30	40,34
14	40	20	40	39,69
15	40	30	50	39,05
16	40	30	10	39,8
17	50	40	20	39,69
18	50	40	30	40,36
19	50	50	40	39,54
20	50	50	50	38,94

Berdasarkan pengujian tersebut, rute terpendek pengiriman barang dengan perubahan parameter jumlah lebah, limit dan maksimum iterasi menunjukkan perubahan hasil jarak terbaik yang tidak signifikan. Pada pengujian tersebut diperoleh hasil jarak terbaik berkisar antara 38,42 km hingga 42,8 km. Rute terpendek yang diperoleh dalam pengiriman barang berdasarkan hasil pengujian tersebut yaitu pada jumlah lebah adalah 10, limit adalah 20 dan maksimum iterasi adalah 40 dengan nilai 38,42 km. Pada pengujian ini berarti dengan jumlah lebah minimum yang digunakan yaitu 10 lebah dapat menemukan rute terpendek, dimana jumlah lebah tersebut juga dipengaruhi oleh nilai limit yang merupakan jumlah perjalanan yang dilakukan oleh lebah dan dipengaruhi oleh maksimum iterasi yang merupakan jumlah iterasi dengan nilai yang lebih tinggi dari jumlah lebah jika ingin menggunakan lebah dengan jumlah yang paling minimum.

4. Kesimpulan

Pada penelitian ini, sistem penentuan rute terpendek pengiriman barang perusahaan ekspedisi menggunakan algoritma *Artificial Bee Colony* telah berhasil dibangun dan diuji coba. Hasil dari sistem ini menunjukkan tiga parameter yang diujikan yaitu jumlah lebah, limit dan maksimum iterasi tidak menunjukkan perubahan yang signifikan untuk jarak terbaiknya. Pada penelitian ini, jarak terpendek yang diperoleh dengan menggunakan algoritma *Artificial Bee Colony* yaitu pada jumlah lebah adalah 10, limit adalah 20 dan maksimum iterasi adalah 40 dengan nilai 38,42 km.

Referensi

- [1] M. Azizah, "Pengaruh Kemajuan Teknologi Terhadap Pola Komunikasi Mahasiswa Universitas Muhammadiyah Malang (UMM)" *Jurnal Sosiologi Nusantara*, vol. 6, no. 1, pp. 45-54, 2020.
- [2] C. Vikasari, "Sistem Informasi Manajemen Pada Jasa Expedisi Pengiriman Barang Berbasis Web" *JATISI (Jurnal Teknik Informatika Dan Sistem Informasi)*, vol. 4, no. 2, pp. 123–132, 2018.
- [3] S. Rohman dan F. W. Abdul, "Pengaruh Kualitas Pelayanan Dan Ketepatan Pengiriman Terhadap Kepuasan Pelanggan Dalam Menggunakan Jasa Pengiriman Barang Ninja Express Di Masa Pandemi Covid-19" *Jurnal Logistik Indonesia*, vol. 5, no. 1, pp. 73-85, 2021.
- [4] R. A. Sinaga, "Optimalisasi Rute Pengiriman Paket Pada Perusahaan Ekspedisi Dengan Penerapan Algoritma Genetika", Universitas Sumatera Utara, 2019.
- [5] J. A. Y. Sulistyono dan Y. A. Nugroho, "Analisis Keterlambatan Pengiriman Paket Menggunakan Metode Six Sigma Di J&T Express DC Sleman Barat Yogyakarta" *Jurnal Cakrawala Ilmiah*, vol. 1, no. 6, pp. 1453-1468, 2022.

- [6] I. P. G. H. Suputra dan C. R. A. Pramatha, "Rekomendasi Rute Perjalanan Wisata Berbasis Web Menggunakan Algoritma Genetika" *Jurnal Ilmu Komputer*, vol. 13, no.1, pp. 21-27, 2020.
- [7] B. Ahmed, S. S. Chouhan, S. Biswas, P. Gayathri dan H. Santhi, "Analysis of travelling salesman problem" *IOP Publishing*, vol. 263, no. 4, pp. 1-9, 2017.
- [8] M. Zhao, Z. Song dan S. Xing, "Improved Artificial Bee Colony Algorithm with Adaptive Parameter for Numerical Optimization" *APPLIED ARTIFICIAL INTELLIGENCE*, vol. 36, no. 1, pp. 525-541, 2022.
- [9] A. Adventia, K. Novianingsih dan H. Serviana, "Penyelesaian Masalah Pendistribusian Barang Menggunakan Algoritma *Bee Colony Optimization*" *EurekaMatika*, vol. 6, no. 2, pp. 64-72, 2018.
- [10] S. N. Amanah, E. Noviani dan Yudhi, "ALGORITMA ARTIFICIAL BEE COLONY (ABC) DALAM MENYELESAIKAN TRAVELING SALESMAN PROBLEM (TSP) Studi Kasus : Data Pelanggan Agen Surat Kabar Di Kota Singkawang" *Buletin Ilmiah Math, Stat, dan Terapannya (Bimaster)*, vol. 11, no. 4, pp. 611-620, 2022.
- [11] M. A. Hermawan, N. Hidayat dan B. D. Setiawan, "Sistem Optimasi Rute Tempat Wisata Kuliner di Malang Menggunakan Algoritma Bee Colony" *Jurnal Pengembangan Teknologi Informasi dan Ilmu Komputer*, vol. 1, no. 3, pp. 215-223, 2017.
- [12] D. J. Pratama, "Penerapan Algoritma *Bee Colony Optimization* Dalam Pencarian Rute Tercepat Rumah Sakit di Kota Bogor" *Jurnal Riset Komputer (JURIKOM)*, vol. 99, no. 99, pp. 503-508, 2019.
- [13] H. Chaerunnissa dan Respitawulan, "Penyelesaian *Travelling Salesman Problem* dengan Menggunakan Algoritma *Artificial Bee Colony*" *Jurnal Riset Matematika*, vol. 1, no. 1, pp. 37-45, 2021.
- [14] M. Furqan, Y. R. Nasution dan Khairunnisa, "Penerapan Algoritma Artificial Bee Colony Untuk Optimasi Rute Jalur Terpendek Distribusi Pipa Air Bersih" *JOMLAI: Journal of Machine Learning and Artificial Intelligence*, vol. 1, no. 2, pp. 125-132, 2022.
- [15] M. D. Arifin dan A. D. Laksito, "Implementasi Algoritma Bee Colony Untuk Optimasi Rute Distribusi Carica Nida Food Wonosobo" *SISTEMASI : Jurnal Sistem Informasi*, vol. 8, no. 2, pp. 243-253, 2019.
- [16] C. A. Pamungkas, "Aplikasi Penghitung Jarak Koordinat Berdasarkan Latitude Dan Longitude Dengan Metode Euclidean Distance Dan Metode Haversine" *Jurnal INFORMA Politeknik Indonusa Surakarta*, vol. 5, no. 2, pp. 8-13, 2019.
- [17] I. M. W. Wirawan dan C. Pramatha, "Pengembangan Sistem Informasi Penanganan Penderita gangguan Jiwa Dengan Pendekatan *Enterprise Systems*" *SINTECH JOURNAL*, vol. 5, no. 1, pp. 31-41, 2022.
- [18] C. Pramatha, J. G. Davis dan K. K. Y. Kuan, "A Semantically-Enriched Digital Portal for the Digital Preservation of Cultural Heritage with Community Participation" in *7th International Conferencel*, Nicosia, 2018, pp. 560-671.