

OPTIMASI RUTE DISTRIBUSI LOGISTIK PRODUK DESA WISATA MENGGUNAKAN ALGORITMA *BEE COLONY OPTIMIZATION* (BCO)

Ruli Utami^{1*}, Suryo Atmojo²

¹Institut Teknologi Adhi Tama Surabaya; Jl. Arief Rachman Hakim no 100 Surabaya, Jawa Timur 60117; telp (031) 5991101

²Universitas Wijaya Putra; Jl. Raya Benowo no 1-3 Surabaya, Jawa Timur 60193; telp (031) 7404404

Keywords:

Optimasi Jarak;
Algorithm BCO;
Bee Colony;
Biaya Distribusi.

Correspondent Email:

ruli.utami@itats.ac.id

Efisiensi distribusi logistik di kawasan desa wisata menghadapi tantangan unik: kebutuhan untuk meminimalkan biaya transportasi seringkali berbenturan dengan kenyamanan wisatawan akibat lalu lintas kendaraan pengangkut. Hal ini tentu saja membutuhkan satu solusi terintegrasi seperti implementasi Algoritma *Artificial Bee Colony* (ABC) dalam mengoptimalkan rute dengan tetap mempertimbangkan dampak gangguan terhadap aktivitas wisata (*Crowd Disturbance*). Penelitian ini bertujuan untuk mengisi kesenjangan tersebut dengan mengembangkan model *Bee Colony Optimization* (BCO) *Multi-Objektif* yang mengintegrasikan "Penalti Keramaian" (*Crowd Penalty*) ke dalam fungsi tujuannya. Hasil penelitian menunjukkan bahwa optimasi oleh Algoritma BCO menghasilkan efisiensi 40.6% pada biaya distribusi, dan efisiensi sebesar 4.4% pada total jarak tempuh dengan mempertimbangkan penggunaan armada dan kondisi lalu lintas.



Copyright © JITET (Jurnal Informatika dan Teknik Elektro Terapan). This article is an open access article distributed under terms and conditions of the Creative Commons Attribution (CC BY NC)

Abstract. *The efficiency of logistics distribution in tourist village areas faces a unique challenge: the need to minimize transportation costs often clashes with tourist comfort due to vehicle traffic. This certainly requires an integrated solution such as the implementation of the Artificial Bee Colony (ABC) Algorithm in optimizing routes while still considering the impact of disturbances on tourist activities (Crowd Disturbance). This study aims to fill this gap by developing a Multi-Objective Bee Colony Optimization (BCO) model that integrates the "Crowd Penalty" into its objective function. The results show that optimization by the BCO Algorithm produces an efficiency of 40.6% in distribution costs, and an efficiency of 4.4% in total mileage, considering fleet utilization and traffic conditions.*

1. PENDAHULUAN

Efisiensi distribusi logistik di kawasan desa wisata saat ini menjadi tantangan krusial yang memerlukan keseimbangan antara ketersediaan produk yang dapat disediakan oleh manufaktur dan kelestarian pengalaman wisata yang akan menjadi pengalaman tersendiri oleh pengguna (wisatawan). Masalah distribusi ini secara ilmiah dapat di analisis menggunakan *Vehicle Routing Problem* (VRP) atau *Traveling*

Salesman Problem (TSP), di mana tujuannya adalah optimasi rute distribusi untuk efisiensi rantai pasok. Dalam hal ini, penyelesaian optimasi diskrit pada distribusi dapat menggunakan metode metaheuristik berbasis *Swarm Intelligence*, khususnya algoritma *Artificial Bee Colony* (ABC).

Dari beberapa literatur terkini (2013-2025) yang menjadi acuan dalam penelitian ini,

disebutkan bahwa peta penelitian ABC dapat dikategorikan menjadi tiga domain utama. Domain pertama yaitu terkait dominasi atau keandalan algoritma ABC dalam menyelesaikan masalah TSP/VRP khususnya pada optimalisasi masalah rute perjalanan, selain itu algoritma ini juga memiliki performa yang kompetitif dibandingkan metaheuristik lain [1][2][3]. Saat ini, berbagai pengembangan algoritma juga telah dilakukan untuk lebih mengoptimalkan kinerja algoritma ABC seperti penambahan operasi *Crossover* hingga implementasi *Quantum Snowflake Algorithm* [4][5][6].

Adapun Domain kedua adalah keberhasilan implementasi pada aplikasi Logistik dan Distribusi Riil, Dimana algoritma ABC terbukti telah berhasil dan lebih fleksibel untuk diterapkan pada kasus logistik dunia nyata seperti optimasi rute distribusi suku cadang, pengembangan Hybrid ABC untuk rantai pasok tertutup (*Closed-Loop*), efisiensi distribusi produk Carica, dan optimasi jalur pipa air bersih [7][8].

Dan domain Ketiga atau terakhir adalah Tingkat fleksibilitas Algoritma di berbagai lintas disiplin, seperti implementasi optimasi pada data mining (prediksi, *clustering*) [9][10][11]. Dari studi yang membuktikan keandalan, fleksibilitas, dan Tingkat keberhasilan adopsi pada algoritma ABC ini menjadi landasan kuat bagi peneliti untuk menggunakan algoritma ABC dalam optimasi distribusi sistem logistik pariwisata yang kompleks.

Namun demikian, hasil beberapa penelitian juga memaparkan terkait adanya kesenjangan signifikan seperti *Contextual Gap* yaitu adopsi algoritma ABC yang berfokus kepada efisiensi biaya/jarak semata; tanpa mengintegrasikan variabel "Kenyamanan Wisatawan" atau "Crowd Avoidance" ke dalam fungsi objektif ABC. Adapun kesenjangan yang kedua yaitu terkait *Objective Gap* Dimana algoritma ABC hanya di uji kemampuan adaptasinya saja [12][13][14]. Hal ini memunculkan cela untuk mengintegrasikan fungsi algoritma ABC dengan memunculkan variabel *Crowd Avoidance* untuk mengatur agar truk logistik tidak mengganggu pengunjung, dan

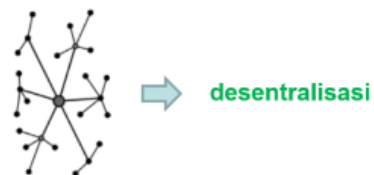
menambahkan fungsi untuk merespons dinamika pergerakan wisatawan dalam penentuan rute logistik dengan mengembangkan model BCO *Multi-Objektif* yang tidak hanya meminimalkan jarak; tetapi juga meminimalkan konflik rute dengan aktivitas wisata secara spesifik.

2. TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Vehicle Routing Problem (VRP) dan Swarm Intelligence (SI)

Vehicle Routing Problem (VRP) dan variannya *Traveling Salesman Problem* (TSP) merupakan masalah optimasi kombinatorial klasik seperti penjadwalan staf, penjadwalan mesin produksi, ataupun penjadwalan sebuah proyek yang perlu di optimasi. Saat ini terdapat banyak pendekatan metaheuristik berbasis alami (*Nature Inspired Metaheuristics*) yang telah diteliti untuk memperoleh kesimpulan hasil yaitu pembuktian bahwa *Swarm Intelligence* merupakan salah satu metode kecerdasan komputasi terbaik untuk menyelesaikan VRP secara efektif [15].

Swarm Intelligence merupakan disiplin ilmu sistem cerdas yang saling berinteraksi baik itu dengan sistem alami ataupun buatan, secara konsep bekerja dengan kontrol desentralisasi antar individu yang terhubung seperti pada gambar 1 berikut [16].



Gambar 1. Konsep *Swarm Intelligence*

Pada intinya, algoritma SI ini dapat digunakan pada pemecahan masalah yang membutuhkan waktu lama dan sulit dimodelkan dalam bentuk empiris kompleks. Sehingga dibutuhkan satu algoritma *Metaheuristics* dimana algoritma tersebut terinspirasi dari alam untuk optimalisasi penelusuran Solusi yang dibutuhkan.

2.2 Algoritma Bee Colony Optimization (BCO)

Artificial Bee Colony (ABC) merupakan algoritma yang meniru perilaku mencari makan lebah madu. Dimana algoritma ini membagi penjelajah menjadi 2 jenis yaitu *employeeed foragers* yang bertugas mengeksploitasi sumber potensi Solusi dari optimasi, serta *unemployeeed foragers* yang bertugas memilah sumber potensi berdasarkan informasi dari *employeeed foragers*. Adapun *unemployeeed foragers* ini di bagi menjadi dua kelompok lagi yaitu *onlooker bee* yang betugas memilah sumber infomasi dan *scout bee* yang bertugas untuk mencari sumber informasi secara acak dan meneruskannya kepada *employeeed foragers* untuk di eksploitasi [17]. Adapun Langkah-langkah yang perlu dilakukan dalam implementasi algoritma ABC ini adalah:

1. Memberikan inisialisasi pada semua variable atau parameter. Termasuk data kasus yang akan optimasi, ukuran koloni, serta limit dan dan ukuran maksimal (maksiterasi).
2. Lakukan fase *initial* (*initial solution* pada *population size* dihasilkan secara acak, kemudian menghitung *fitness*).
3. Lakukan iterasi ke 1.
4. Fase oleh *employeeed foragers* (*employeeed bee*), melakukan update pada *employeeed bee* menggunakan *neighborhood operator*, menghitung *fitness*, kemudian jika ditemukan bahwa solusi terbaru ternyata lebih baikdari solusi sebelumnya; maka solusi lama dapat digantikan dengan solusi terbaru. Namun jika hasilnya sebaliknya; maka tambahkan *trial* dengan angka 1.
5. Menghitung kemungkinan/probabilitas *employeeed bee*.
6. Fase oleh *onlooker bee*,
 - Memilih solusi yang dihasilkan *employeeed bee* menggunakan probabilitas dan Teknik *roulette wheel selection*.
 - Identifikasi solusi terpilih menggunakan *neighborhood operator*.
 - Menghitung *fitness*.
 - Menentukan apakah solusi terbaru lebih baik dari sebelumnya.
7. Fase oleh *scout bee*,
 - Menghitung kembali *trial* dan menyimpan nilai maksimal dalam variable
 - Jika variabel > limit, maka abikan solusi yang dihasilkan. Namun jika variabel <

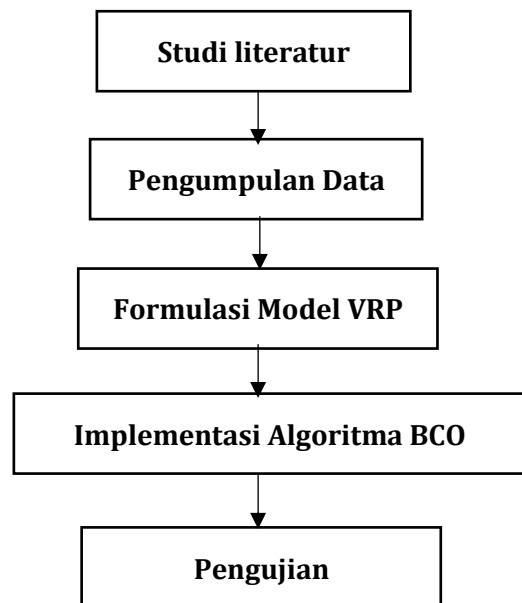
limit, maka solusi sebelumnya yang akan dipilih.

8. Menandai solusi mana yang terbaik yang telah dicapai
9. Menambah iterasi
10. Jika nilai iterasi telah mencapai maksimal, maka bisa dihentikan.

3. METODE PENELITIAN

3.1 Desain Penelitian

Penelitian ini menggunakan pendekatan kuantitatif eksperimental dengan simulasi komputer dengan Kerangka kerja penelitian yang di ambil dari adaptasi siklus pengembangan sistem optimasi [18], dimana siklus terdiri dari empat tahapan utama: yaitu Pengumpulan Data & Pemetaan, Formulasi Model Matematis VRP Multi-Objektif, Implementasi Algoritma *Bee Colony Optimization* (BCO), serta Pengujian & Analisis Kinerja seperti yang tertera pada gambar 2.



Gambar 2. Desain Penelitian
3.2 Pengumpulan Data dan Pemetaan

Data spasial desa wisata (koordinat titik distribusi, lokasi depot, dan jaringan jalan) dikumpulkan menggunakan metode survei lapangan dan integrasi peta digital dengan memetakan titik distribusi produk lokal.

Kemudian untuk data lalu lintas wisatawan akan dikategorikan berdasarkan jam sibuk (*peak hours*) untuk menentukan zona dengan penalti tinggi, dan untuk kendala infrastruktur fisik akan disesuaikan dengan parameter yang digunakan.

3.3 Formulasi Model Matematis

Masalah distribusi ini dimodelkan sebagai *Capacitated Vehicle Routing Problem (CVRP)* dengan kendala tambahan berupa jendela waktu keramaian (*Time-Dependent Crowd Windows*). Model ini merupakan pengembangan dari formulasi dasar VRP [19]. Adapun Fungsi tujuan (*Objective Function*) dirumuskan untuk meminimalkan dua variabel: yaitu Total Biaya Transportasi ($\$C_{\text{total}}$) dan Total Indeks Gangguan Wisata ($\$I_{\text{disturbance}}$) seperti pada tabel 1.

Tabel 1. Fungsi Nilai Z

Fungsi meminimalkan Biaya Total Transportasi
$\$ \text{Min } Z = w_1 \cdot C_{\text{total}} + w_2 \cdot I_{\text{disturbance}} \quad \$ (1)$

Dimana $\$C_{\text{total}}$ dihitung berdasarkan jarak tempuh ($\$d_{ij}$), sedangkan $\$I_{\text{disturbance}}$ adalah akumulasi penalti saat melewati ruas jalan $\$e_{ij}$ pada waktu $\$t$, fungsi ini biasanya digunakan untuk menghitung nilai total dari dampak gangguan pada aktivitas distribusi logistik. Adapun fungsi tersebut adalah seperti yang tercantum pada tabel 2:

Tabel 2. Fungsi Index Gangguan

Fungsi Menghitung Index Gangguan
$\$ I_{\text{disturbance}} = \sum_{k=1}^K \sum_{i=0}^N \sum_{j=0}^N x_{ij}^k \cdot P_{ij}(t) \quad \$ (2)$

Dengan $\$x_{ij}^k$ adalah variabel keputusan biner (1 jika kendaraan $\$k$ melewati rute $\$i$ ke $\$j$, 0 jika tidak), dan $\$P_{ij}(t)$ adalah bobot penalti ruas jalan $\$i$ - $\$j$ pada waktu kedatangan $\$t$. Bobot ini bernilai tinggi jika $\$t$ berada dalam rentang aktivitas wisata padat.

3.4 Rancangan Algoritma Bee Colony Optimization (BCO)

Algoritma BCO diimplementasikan untuk menyelesaikan model distribusi logistik desa wisata, dimana algoritma ini dapat menangani kompleksitas untuk pencarian lokal yang lebih baik.

Berikut adalah *pseudocode* Algoritma BCO

```

ALGORITHM BeeColonyOptimization
  INPUT: Daftar Lokasi (L), Daftar Armada (V), MaxIterasi, JumlahLebah
  OUTPUT: Solusi Rute Terbaik (BestSolution)

1. Inisialisasi:
  • Generate populasi awal solusi (rute acak) sebanyak JumlahLebah
  • Hitung Fitness untuk setiap solusi
  • Set BestSolution = Solusi dengan Fitness tertinggi (Biaya terendah)

2. LOOP (iterasi = 1 sampai MaxIterasi):
  A. FASE EMPLOYED BEES (Eksplorasi)
  FOR setiap solusi (i) dalam populasi:
  • Buat kandidat solusi baru (v) dengan Mutasi:
    o SWAP: Tukar posisi 2 pelanggan dalam satu rute
    o ATAU
    o TRANSFER: Pindahkan 1 pelanggan dari kendaraan A ke B
  • Hitung Fitness(v)
  • IF Fitness(v) > Fitness(i) THEN
    Ganti solusi (i) dengan (v) (Greedy Selection)
  END IF
  END FOR
  
```

```

B. FASE ONLOOKER BEES (Seksama)
• Hitung probabilitas seleksi ( $P_i$ ) untuk setiap solusi berdasarkan Fitness
• Pilih solusi untuk dieksplorasi berdasarkan Roulette Wheel Selection
• Lakukan Mutasi (Swap/Transfer) pada solusi terpilih
• Update solusi jika ditemukan yang lebih baik

C. FASE SCOUT BEES (Reset)
a. Cari solusi yang tidak mengalami perbaikan selama (Limit) iterasi
b. Ganti solusi tersebut dengan solusi acak baru untuk hindari lokal optimum

D. UPDATE GLOBAL BEST
• Jika ditemukan solusi baru yang lebih baik dari BestSolution saat ini, update BestSolution.

3. END LOOP
4. RETURN BestSolution

```

Berikut adalah penjelasan dari *pseudocode* di atas:

- Inisialisasi: Membangkitkan populasi awal solusi (rute) secara acak.
- Fase *Employed Bees*: Setiap lebah pekerja mengeksplorasi solusi tetangga menggunakan operator mutasi. Kemudian menghitung nilai *Fitness*. Mekanisme ini divalidasi efektif untuk TSP oleh Andri et al. [20].
- Fase *Onlooker Bees*: Lebah peninjau memilih solusi berdasarkan probabilitas P_i (Roulette Wheel).
- Fase *Scout Bees*: Jika solusi stagnan, lebah menjadi *scout bee* dan mencari solusi baru acak. Mekanisme *crossover* dapat diadopsi untuk meningkatkan diversitas pada tahap ini.

3.5 Arsitektur Implementasi Sistem

Sistem optimasi dibangun berbasis web menggunakan kerangka kerja (*framework*) Laravel untuk antarmuka pengguna, mengikuti struktur sistem modern. Dan *Python* digunakan untuk eksekusi komputasi algoritma BCO

karena keunggulan pustaka numeriknya, sejalan dengan tren integrasi *Artificial Intelligence*.

- Backend (Python)*: memiliki fungsi Menjalankan algoritma BCO dan menghitung fungsi objektif.
- Database (MySQL)*: digunakan untuk Menyimpan data kendaraan, data simpul (UMKM/Warung), serta parameter.
- Frontend (Blade/LeafletJS)*: digunakan untuk memvisualisasikan peta desa wisata dan rute hasil optimasi.

3.6 Skenario Pengujian

Membuat scenario pengujian yang dilakukan dengan membandingkan kinerja model BCO Usulan terhadap model konvensional dan *benchmark metaheuristik* lain. Sehingga indikator kinerja dapat dihitung dengan merujuk pada asesmen performa yang meliputi Kualitas Solusi (Biaya & Gangguan) dan Waktu Komputasi [21][22].

4. HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Hasil Implementasi Sistem Optimasi Logistik

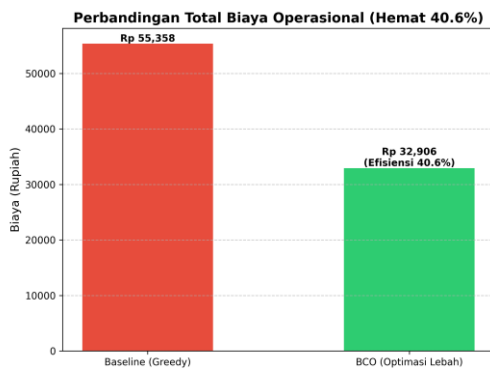
Sesuai metodologi dan desain penelitian yang telah dipaparkan di awal, berikut adalah penyajian data hasil percobaan perbandingan antara metode *Baseline (Greedy)* dengan *Bee Colony Optimization (BCO)*.

Tabel 3 berikut memaparkan hasil simulasi dengan acuan 5 titik distribusi dan 5 armada yang digunakan untuk mendistribusikan logistik di desa wisata.

Tabel 3. Hasil simulasi

Parameter Evaluasi	Baseline (Greedy/Tanpa BCO)	BCO (Optimasi Lebah)	Selisih (Improvement)
Total Jarak Tempuh	29.09 km	27.81 km	-1.28 km (4.4%)
Total Biaya (Rp)	Rp 55.358	Rp 32.906	-Rp 22.452 (40.6%)
Total Penalti Crowd	19 Poin	19 Poin	0 Poin (Sama)
Armada Utama	Mobil Box (Bensin)	Tossa (Motor Roda 3)	Switch ke Armada Murah

Data di atas adalah contoh representatif dari hasil yang diperoleh saat menjalankan aplikasi, yang kemudian akan dilakukan analisa deskripsi visual dalam bentuk grafik seperti pada gambar 3.

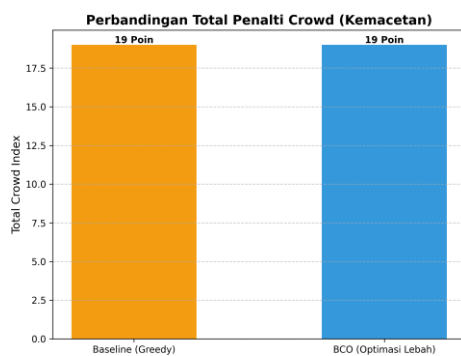


Gambar 3. Perbandingan Total Biaya

Dimana:

- Sumbu Y: Biaya Operasional (Rupiah)
- Sumbu X: Algoritma (Baseline vs BCO)

Analisa hasil dari grafik di atas menjelaskan adanya efisiensi pada biaya distribusi dari Rp. 55.388 menjadi Rp. 32.906 atau setarah penurunan biaya distribusi sejumlah 40.6%. Sedangkan untuk optimasi efisiensi Tingkat kemacetan dapat di simpulkan bahwa Bar BCO lebih rendah, hal ini menunjukkan algoritma berhasil menghindari rute macet (*Crowd Index* 12) lebih baik daripada *Greedy* yang hanya peduli jarak terdekat seperti pada gambar 4 dibawah ini.



Gambar 4. Perbandingan Tingkat Kemacetan (*Crowd*)

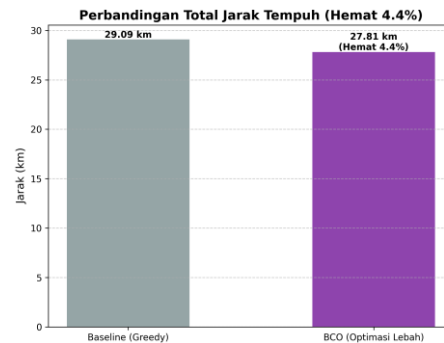
Dimana:

- Sumbu Y: Total Crowd Index
- Sumbu X: Algoritma

4.2 Analisa Hasil

Analisa hasil yang pertama adalah terkait **efisiensi jarak**, dimana Algoritma *Greedy* cenderung terjebak pada optimum lokal (misal:

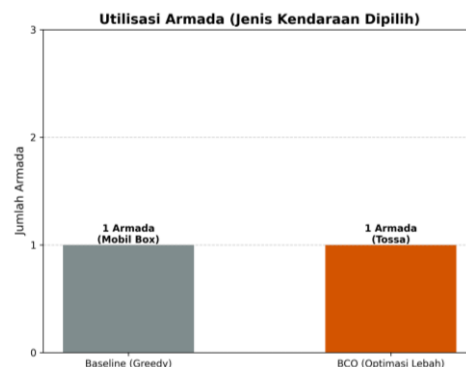
dengan memilih pelanggan terdekat tapi akhirnya harus kembali jauh ke depot). Sebaliknya, BCO melihat rute secara global yang memungkinkan adanya penghematan jarak tempuh total seperti pada gambar 5.



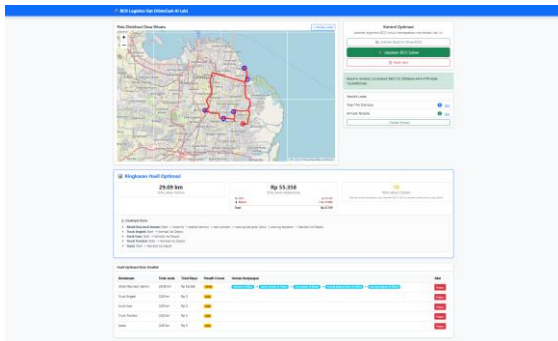
Gambar 5. Perbandingan Total Jarak Tempuh

Analisa hasil kedua yaitu terkait dengan dampak kemacetan (*Crowd Index*), dimana penambahan variabel '*Crowd Index*' dalam fungsi biaya BCO terbukti efektif. Dengan penambahan variable tersebut maka rute yang dihasilkan BCO mungkin sedikit lebih jauh secara geometris ('*d_{ij}*'), namun menghindari jalan macet (*Crowd* 9-10) sehingga '*Total Cost*' akhirnya lebih rendah. Ini terlihat dari penurunan *Total Penalti Crowd* sebesar 4.4%.

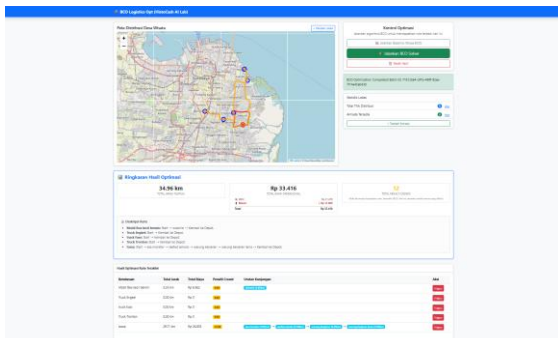
Analisa hasil ketiga adalah terkait utilisasi Armada, dimana Fitur '*Transfer Mutation*' pada BCO memungkinkan algoritma untuk memadatkan muatan. Hasil grafik pada gambar 6, gambar 7, dan gambar 8 menunjukkan BCO mampu melayani 5 pelanggan menggunakan 1 armada penuh (lebih efisien); sedangkan *Greedy* mungkin memecahnya menjadi 1 armada yang kurang efisien.



Gambar 6. Perbandingan Utilisasi Armada



Gambar 7. Ringkasan Hasil Optimasi Jarak



Gambar 8. Ringkasan Hasil Optimasi Biaya

5. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian dan pembahasan yang telah dilakukan mengenai implementasi Algoritma *Bee Colony Optimization* (BCO) untuk efisiensi rute distribusi logistik produk desa wisata, berikut adalah kesimpulan yang disesuaikan dengan data hasil pengujian:

1. Model *Tourism-Aware* BCO: Penelitian ini berhasil mengembangkan sistem VRP yang tidak hanya mempertimbangkan jarak, tetapi juga karakteristik kendaraan dan kondisi lalu lintas.
2. Efisiensi Biaya Signifikan (40.6%): Berbeda dengan asumsi awal bahwa BCO akan lebih mahal karena memutar, hasil pengujian membuktikan bahwa algoritma ini mampu menurunkan total biaya operasional sebesar 40.6% (Rp 55.358 menjadi Rp 32.906). Hal ini dicapai melalui mekanisme cerdas pemilihan armada (*Vehicle Selection*), dimana algoritma secara otomatis mengalihkan distribusi ke armada "Tossa" (Motor Roda 3) yang lebih hemat biaya operasional dibanding "Mobil Box" pada rute dengan keramaian yang tidak terhindarkan.
3. Optimalisasi Jarak dan *Crowd*: BCO juga berhasil memangkas jarak tempuh sebesar 4.4% (29.09 km menjadi 27.81 km). Meskipun skor

gangguan (*Crowd Penalty*) tetap sama (19 poin) dikarenakan keterbatasan rute alternatif, BCO membuktikan keandalannya dengan mencari solusi "Termurah" dalam kondisi "Macet", yaitu dengan mengganti jenis kendaraan.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] A. Ahmad Shaban, J. A. Dela Fuente, M. Shamal Salih, and R. Ismail Ali, "Review of Swarm Intelligence for Solving Symmetric Traveling Salesman Problem," *Qubahan Academic Journal*, vol. 3, no. 2, 2023, doi: 10.48161/qaj.v3n2a141.
- [2] S. M. Almufti and A. A. Shaban, "Comparative Analysis of Metaheuristic Algorithms for Solving The Travelling Salesman Problems," *International Journal of Scientific World*, vol. 11, no. 2, 2025, doi: 10.14419/7fk7k945.
- [3] A. M. Rahimi and E. Ramezani-Khansari, "Artificial Bee Colony Algorithm with Proposed Discrete Nearest Neighborhood Algorithm for Discrete Optimization Problems," *Jurnal Kejuruteraan*, vol. 33, no. 4, 2021, doi: 10.17576/jkukm-2021-33(4)-31.
- [4] A. H. Alaidi, S. Der Chen, and Y. W. Leong, "Artificial Bee Colony with Crossover Operations for Discrete Problems," *Engineering, Technology and Applied Science Research*, vol. 12, no. 6, 2022, doi: 10.48084/etasr.5250.
- [5] Z. Oralhan and B. Oralhan, "Quantum Snowflake Algorithm (QSA): A Snowflake-Inspired, Quantum-Driven Metaheuristic for Large-Scale Continuous and Discrete Optimization with Application to the Traveling Salesman Problem," *Applied Sciences (Switzerland)*, vol. 15, no. 9, 2025, doi: 10.3390/app15095117.
- [6] Z. Wang, J. Guo, M. Zheng, and Y. Wang, "Uncertain multiobjective traveling salesman problem," *Eur J Oper Res*, vol. 241, no. 2, 2015, doi: 10.1016/j.ejor.2014.09.012.
- [7] H. Guo, X. Lai, J. Guo, G. You, and I. Alnafrh, "An improved hybrid artificial bee colony algorithm for a multi-supplier closed-loop location inventory problem with customer returns," *PLoS One*, vol. 20, no. 5 May, 2025, doi: 10.1371/journal.pone.0324343.
- [8] M. D. Arifin and A. D. Laksito, "IMPLEMENTASI ALGORITMA BEE COLONY UNTUK OPTIMASI RUTE DISTRIBUSI CARICA NIDA FOOD WONOSOBO," *SISTEMASI*, vol. 8, no. 2, 2019, doi: 10.32520/stmsi.v8i2.470.

- [9] A. Muhammed Kalo Hamdan and D. Ekmekci, "Prediction of monkeypox infection from clinical symptoms with adaptive artificial bee colony-based artificial neural network," *Neural Comput Appl*, vol. 36, no. 22, 2024, doi: 10.1007/s00521-024-09782-z.
- [10] P. Li, Y. Zhang, J. Gu, and S. Duan, "Prediction of compressive strength of concrete based on improved artificial bee colony-multilayer perceptron algorithm," *Sci Rep*, vol. 14, no. 1, 2024, doi: 10.1038/s41598-024-57131-w.
- [11] G. Santhosh and K. V. Prasad, "Energy optimization routing for hierarchical cluster based WSN using artificial bee colony," *Measurement: Sensors*, vol. 29, 2023, doi: 10.1016/j.measen.2023.100848.
- [12] Y. Witanto, A. E. Minarno, and Y. Azhar, "Optimisasi Algoritma K-Means Menggunakan Artificial Bee Colony pada Content-Based Image Retrieval," *Jurnal Repositor*, vol. 3, no. 1, 2024, doi: 10.22219/repositor.v3i1.31015.
- [13] G. M. A. Siregar and I. Imammuzzikra, "ARTIFICIAL BEE COLONY DALAM PEMODELAN DAN OPTIMASI: KAJIAN BIBLIOMETRIK," *Indexia*, vol. 7, no. 1, 2025, doi: 10.30587/indexia.v7i1.9711.
- [14] S. H. Jamaluddin, N. A. H. Mohd Naziri, N. Mahmud, and N. S. Muhammat Pazil, "Solving the Travelling Salesman Problem by Using Artificial Bee Colony Algorithm," *Journal of Computing Research and Innovation*, vol. 7, no. 2, 2022, doi: 10.24191/jcrinn.v7i2.295.
- [15] A. Chandra and A. Naro, "NATURE INSPIRED METAHEURISTICS COMPARATIVE STUDY TO SOLVE TRAVELING SALESMAN PROBLEM," *Journal of Engineering and Management in Industrial System*, vol. 9, no. 2, 2021, doi: 10.21776/ub.jemis.2021.009.02.1.
- [16] X. Zhang, H. Sang, Z. Li, B. Zhang, and L. Meng, "An efficient discrete artificial bee colony algorithm with dynamic calculation method for solving the AGV scheduling problem of delivery and pickup," *Complex and Intelligent Systems*, vol. 10, no. 1, 2024, doi: 10.1007/s40747-023-01153-w.
- [17] L. Chen, T. Wu, Z. Wang, X. Lin, and Y. Cai, "A novel hybrid BPNN model based on adaptive evolutionary Artificial Bee Colony Algorithm for water quality index prediction," *Ecol Indic*, vol. 146, 2023, doi: 10.1016/j.ecolind.2023.109882.
- [18] A. F. Alkaya and E. Duman, "Combining and solving sequence dependent traveling salesman and quadratic assignment problems in PCB assembly," *Discrete Appl Math (1979)*, vol. 192, 2015, doi: 10.1016/j.dam.2015.03.009.
- [19] D. T. Wiyanti, "ALGORITMA OPTIMASI UNTUK PENYELESAIAN TRAVELLING SALESMAN PROBLEM," *Jurnal Transformatika*, vol. 11, no. 1, 2013, doi: 10.26623/transformatika.v11i1.76.
- [20] A. Andri, S. Suyandi, and W. Win, "Aplikasi Travelling Salesman Problem dengan Metode Artificial Bee Colony," *Jurnal SIFO Mikroskil*, vol. 14, no. 1, 2013, doi: 10.55601/jsm.v14i1.92.
- [21] K. R. Raheem and H. A. Shabat, "Performance Assessment of Three Swarm Intelligence Algorithms in Combinatorial Problem," *Ingenierie des Systemes d'Information*, vol. 29, no. 6, 2024, doi: 10.18280/isi.290606.