



Optimisasi Rute Pengiriman Produk Komponen Otomotif (*Traveling Salesman Problem*) Melalui Pendekatan Heuristik

M. Syahri Nur Afif^{1*}, M. Ibrahim Ats-Tsauri², S Hadiwijaya³

^{1,2}Master Teknik Industri, Universitas Mercu Buana, Indonesia

³Master Teknik Industri, Universitas Bina Nusantara, Indonesia

*Korespondensi email: msyahri996@gmail.com

Abstraksi

On-time delivery is a key KPI in the supply chain of automotive component manufacturing companies such as PT XYZ. Delays in delivery can result in large losses as customer stop line losses will be charged to the company. Delivery delays also lead to reduced customer satisfaction and increased transportation costs. Therefore, it is necessary to optimize product delivery to customers to achieve timely delivery targets, achieve customer satisfaction, and transportation cost efficiency. This study aimed to find a solution to the Traveling Salesman Problem (TSP) with the Cheapest-Insertion Heuristics (CIH) heuristic approach. Heuristic methods are methods used to solve problems by trial and error when the algorithmic approach is considered impractical and inefficient to produce a solution. The results show that the CIH method can produce an optimal route that is NIP-CHN-KID-MKI-SRI-MTAT-NIP with a minimum distance of 290 km.

Keywords: Supply Chain, Transportation Optimization, Heuristic model, Traveling Salesman Problem (TSP), Cheapest-Insertion Heuristics (CIH).

I. Pendahuluan

PT XYZ adalah perusahaan yang bergerak di bidang industri manufaktur komponen otomotif. *On time delivery* merupakan KPI utama mengenai *supply chain* pada PT XYZ. Keterlambatan pengiriman akan menimbulkan kerugian besar bagi perusahaan karena dapat berakibat proses produksi pelanggan *stop line*, dimana kerugian karena *stop line* akan dibebankan pada perusahaan [1]. Penjadwalan pengiriman order pelanggan dilakukan oleh bagian *sales* dan *delivery* yang selama ini hampir sepenuhnya dilakukan secara intuitif tanpa metoda analitis.

Kekurangan melakukan pekerjaan tanpa menggunakan metode analitis dalam hal optimisasi rute pengiriman dapat dilihat pada performa pengiriman di PT XYZ yang stagnan, bahkan cenderung menurun. Keluhan akibat keterlambatan pengiriman dan pembengkakan biaya yang terjadi karena perencanaan distribusi yang tidak efisien masih acapkali terjadi.

Berdasarkan hal tersebut maka perlu bagi PT XYZ untuk memiliki metode analitis yang rasional dan terbukti valid untuk melakukan penjadwalan dan pemilihan rute pengiriman.

Tabel 1. Performa pengiriman tahun 2021

Pelanggan	On time pengiriman												% on time pengiriman
	Jan	Feb	Mar	Apr	May	Jun	Jul	Aug	Sep	Oct	Nov	Dec	
CHN	9	10	9	10	10	10	8	5	10	10	9	10	92%
MTAT	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	100%
KID	10	8	10	8	10	10	10	10	10	8	10	10	95%
MKI	10	10	10	5	10	10	10	5	10	10	10	5	88%
SRI	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	100%
Performa pengiriman tahun 2021												95%	

Keterangan : skor 10 = tidak ada delay; skor 9 = delay 1 kali; skor 8 = delay 2 kali; skor 5 = delay > 2 kali

Identifikasi Masalah

Karena tidak menggunakan metode analitis dalam hal optimisasi rute pengiriman, performa pengiriman di PT XYZ stagnan bahkan cenderung menurun di tahun 2021.

Rumusan Masalah

Diperlukan metode analitis dalam hal optimisasi rute pengiriman, guna mempertahankan dan meningkatkan performa pengiriman di PT XYZ.

Tujuan Penelitian

Tujuan penelitian ini adalah untuk mencari metode analitis dalam hal optimisasi rute pengiriman, guna mempertahankan dan meningkatkan performa pengiriman di PT XYZ.

Batasan Penelitian

Batasan penelitian ini adalah:

- Data yang diambil pada penelitian ini hanya berasal dari sebuah perusahaan manufaktur otomotif yang berlokasi di Kabupaten Bekasi pada tahun 2021.
- Data rute pengiriman yang dipakai pada penelitian ini hanya berasal dari satu rute pengiriman utama yang mewakili 80% volume

pengiriman perusahaan manufaktur otomotif tersebut.

II. Tinjauan Pustaka

Traveling Salesman Problem (TSP)

TSP merupakan masalah klasik yang mencoba mencari rute terpendek yang dapat dilalui *salesman* yang ingin mengunjungi beberapa kota tanpa harus mendatangi kota yang sama lebih dari satu kali [2]. Persoalan ini menggunakan representasi graf dan riset operasi untuk memodelkan persoalan yang diwakili sehingga lebih mudah penyelesaiannya [3]. Tujuan TSP adalah mencari rute perjalanan semua kota dengan total bobot minimum [4].

Model TSP didefinisikan oleh dua buah data [1], yaitu:

- Jumlah tempat, yang diwakili oleh n . Jumlah maksimum rute pada n -tempat adalah $(n-1)$.
- Jarak c_{ij} antara tempat i dan j . Apabila tempat i dan j tidak terhubung, maka $c_{ij} = \infty$.

Model TSP didefinisikan dengan sejumlah n buah kota dan c_{ij} yang merupakan jarak antara kota i dan kota j , seseorang ingin membuat suatu lintasan tertutup dengan mengunjungi setiap

kota satu kali. Tujuannya adalah memilih lintasan tertutup yang total jaraknya paling minimum diantara pilihan dari semua kemungkinan lintasan [1]. Model dari TSP adalah sebagai berikut [5]:

Fungsi Tujuan:

$$\text{Minimum } z = \sum_{(i,j) \in A} c_{ij} x_{ij}$$

$$c_{ij} = \infty \text{ untuk } i=j$$

Dengan batasan:

$$\sum_{i=0}^n x_{ij} = 1; i=0,1,\dots,n$$

$$x_{ij} = [0,1]$$

dengan :

n : jumlah kota/ lokasi /pelanggan yang akan dikunjungi (n tidak termasuk tempat asal, yang diindeks $i = 0$).

c_i : biaya/ jarak dari kota i ke kota j

A : sepasang *arc / edge* (i,j) yang ada, dengan (i,j) yang dimaksud adalah *arc* yang ada dari *node* i ke *node* j .

Pada perkembangannya, ternyata TSP merupakan persoalan yang telah banyak diaplikasikan pada berbagai persoalan dunia nyata. TSP melibatkan suatu algoritma yang mengharuskan untuk mencari kemungkinan semua solusi yang ada [6]. Ada banyak algoritma untuk memecahkan masalah TSP, diantaranya dengan *Linear Programming* (LP), *Genetic Algorithm* (GA), *Nearest Neighbourhood Heuristics* (NNH) dan *Cheapest-Insertion Heuristics* (CIH) [7].

Beberapa pendekatan *Branch and Bound* juga telah dikembangkan untuk mencari solusi TSP. Pendekatan *Branch and Bound* pada kasus *salesman* dengan banyak lokasi akan memerlukan waktu perhitungan yang cukup lama. Salah satu cara yang sering digunakan untuk mempercepat pencarian solusi masalah TSP adalah dengan metoda heuristik [8].

Metode Heuristik

Heuristik adalah seni dan ilmu untuk menemukan [9]. Metoda heuristik adalah suatu metoda coba-coba yang terpaksa diambil ketika pendekatan algoritmik bersifat tidak praktis [10]. Metoda ini tidak selalu dapat memecahkan masalah, tetapi sering kali memecahkan masalah dengan lebih baik dan cepat daripada pencarian solusi secara lengkap [8]. Metode heuristik adalah subbidang dari kecerdasan buatan yang digunakan untuk melakukan pencarian dan optimasi [11]. Metode heuristik berdasarkan strategi pencarian pintar pada pemecahan masalah dengan komputer, dengan menggunakan beberapa pendekatan.

Dua tujuan dasar dalam pemecahan masalah optimisasi pada ilmu komputer adalah mencari algoritma yang cepat menyelesaikan masalah dan memperoleh hasil yang optimal [3]. Metode heuristik adalah metode yang menghilangkan salah satu atau dua dari tujuan tersebut [3]. Misalnya pada pemecahan masalah optimisasi dapat dihasilkan solusi yang cukup optimal, namun secara manual belum tentu solusi yang lebih optimal dapat diperoleh karena kompleksnya permasalahan yang ada. Atau solusi yang didapat dihasilkan dengan waktu yang sangat cepat, namun secara manual masih dapat ditemukan hasil yang lebih optimal.

Jadi, hasil yang diperoleh belum tentu yang paling optimal. Tetapi penggunaan metode heuristik yang umum tetap diterapkan di dunia nyata. Karena terdapat beberapa masalah, di mana hanya metode heuristik yang memungkinkan untuk memperoleh solusi yang optimal dalam waktu yang sangat singkat. Menurut [1] metoda

heuristik yang dianggap efektif untuk menyelesaikan masalah TSP adalah *Nearest Neighbor Heuristics* (NNH) dan *Cheapest-Insertion Heuristics* (CIH).

Di antara metoda heuristik untuk TSP, *Nearest Neighbor Heuristic* (NNH) adalah metoda heuristik yang paling sederhana. Metoda NNH pertama kali diperkenalkan pada tahun 1983 [5]. Pemecahan masalah dilakukan dengan memulai titik awal kemudian mencari titik terdekat atau jarak paling minimum. Kemudian dari titik tersebut dicari lagi titik yang belum dikunjungi dengan jarak yang paling minimum, iterasi berhenti setelah semua titik dilewati dan kembali ke titik awal. NNH merupakan algoritma yang mudah untuk diimplementasikan dan mudah untuk dieksekusi, tetapi tidak menjamin solusi yang dihasilkan optimal [5].

Disisi lain, metoda *Cheapest-Insertion Heuristic* (CIH) membangun suatu *tour* dari sikel-sikel kecil dengan bobot minimal secara berturut-turut, kemudian ditambah dengan titik baru. Pemilihan titik baru tersebut dilakukan bersamaan dengan pemilihan sisi sehingga didapatkan nilai penyisipan minimum. Selanjutnya titik baru tersebut disisipkan di antara dua titik yang membentuk sisi yang telah terpilih [1].

***Cheapest-Insertion Heuristics* (CIH)**

Algoritma CIH berbasis pada suatu algoritma insersi yang mana pada setiap penambahan kota baru yang akan disisipkan ke dalam *subtour* mempunyai bobot penyisipan paling minimal [12]. Bobot penyisipan diperoleh dari persamaan $c(i,k,j) = c(i,k) + c(k,j) - c(i,j)$. Algoritma ini memberikan rute perjalanan yang berbeda tergantung dari urutan penyisipan kota-kota pada *subtour* yang bersangkutan.

Algoritma TSP CIH terdiri dari beberapa langkah berikut [12]:

1. Inisialisasi, mulai dengan parsial tur dengan hanya satu kota i , dipilih secara acak.
2. Seleksi, Temukan kota k , i , dan j (i dan j titik ekstrem yang berada di parsial tur dan k tidak berada di tur tersebut) sehingga $c_{ik}+c_{kj}-c_{ij}$ adalah minimum.
3. Insersi, sisipkan k di antara i dan j .
4. Jika semua kota sudah disisipkan, maka kembali ke langkah 2.

III. Metodologi

Jenis data yang digunakan pada penelitian ini adalah data primer yakni pengamatan langsung kondisi armada logistik darat melalui penelusuran GPS dan data sekunder, berupa wawancara dan tinjauan literatur yang relevan. Metode analisis data yang digunakan adalah metode kuantitatif dengan pendekatan Algoritma *Cheapest-Insertion Heuristics* (CIH).

Langkah-langkah yang digunakan dalam pemecahan masalah adalah sebagai berikut:

1. Penelusuran, yang mana tempat pertama dihubungkan sampai tempat terakhir.
2. Pembuatan hubungan *subtour* antara dua tempat tersebut. Yang dimaksud *subtour* adalah perjalanan yang dimulai dari tempat pertama dan berakhir di tempat pertama lagi.
3. Penggantian arah hubungan, Salah satu arah hubungan (*arc*) dari dua kota diganti dengan kombinasi dua *arc*, yaitu *arc* (i,j) dengan *arc* (i,k) dan *arc* (k,j), dengan k diambil dari kota yang belum masuk *subtour* dan dengan tambahan jarak terkecil.

4. Pengulangan langkah 3 sampai seluruh kota masuk dalam *subtour*.

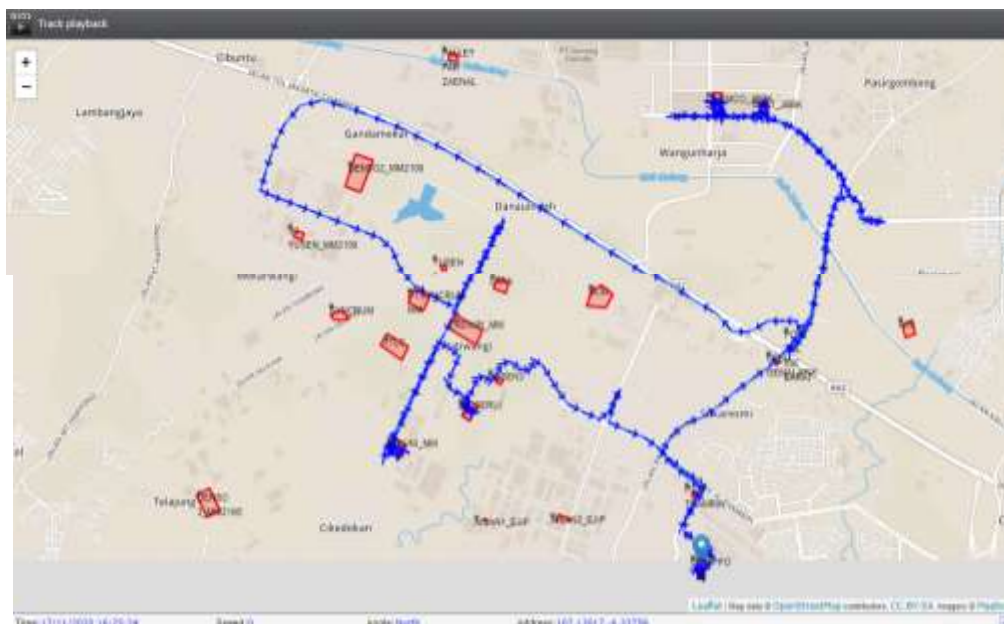
IV. Hasil dan Pembahasan

Untuk perhitungan awal, akan digunakan metoda *Branch and Bound* untuk menentukan rute terpendek yang harus ditempuh

oleh armada logistik PT XYZ untuk mengirim produk ke lima lokasi pelanggan utamanya yaitu NIP, CHN, MTAT, KID, MKI dan SRI. Jarak antar lokasi pelanggan utama PT XYZ dapat dilihat pada Tabel 1 sedangkan peta rute pengiriman produk dapat dilihat pada Gambar 1.

Tabel 1. Jarak antar lokasi pelanggan (dalam km)

Lokasi	(1) NIP	(2) CHN	(3) MTAT	(4) KID	(5) MKI	(6) SRI
(1) NIP	0	16	34	83	136	69
(2) CHN	16	0	18	67	120	85
(3) MTAT	34	18	0	49	102	103
(4) KID	83	67	49	0	53	70
(5) MKI	136	120	102	53	0	17
(6) SRI	69	85	103	70	17	0



Gambar 1. Peta rute pengiriman produk ke pelanggan

Apabila menggunakan metode *Branch and Bound*, rute yang harus dilalui oleh armada logistik PT XYZ untuk

mengirimkan produknya adalah NIP – CHN – MTAT – SRI – KID – MKI dengan jarak minimum 338 km.

Penyelesaian TSP dengan Metode Cheapest-Insertion Heuristics (CIH)

Penyelesaian dengan menggunakan metode CIH. Perjalanan dengan menggunakan metode CIH dimulai dari pelanggan 1, dari pelanggan 1 perjalanan terdekat adalah menuju pelanggan 2 artinya perjalanan dari pelanggan 1 ke pelanggan 2, sehingga bisa ditulis *subtour* (1,2)-(2,1). Kemudian (1,2) dapat disisipkan dan diganti

dengan (1,3) - (3,2), (1,4) - (4,2), (1,5) - (5,2), dan (1,6)-(6,2). Kemudian (2,1) dapat juga diganti dengan (2,3) - (3,1), (2,4) - (4,1), (2,5) - (5,1), dan (2,6) - (6,1). Perhitungan yang digunakan untuk menentukan lintasan yang harus diganti oleh (1,2)-(2,1) dapat dilihat pada Tabel 2. Tabel 2 memperlihatkan tambahan jarak terkecil diperoleh apabila arc (2,1) diganti dengan (2,3) dan (3,1) sehingga diperoleh *subtour* baru yaitu (1,2)-(2,3)-(3,1).

Tabel 2. Menentukan Arc (1,2)-(2,1) yang akan diganti

Arc yang akan diganti	Arc yang akan ditambahkan	Tambahan Jarak	Total
(1,2)	(1,3) - (3,2)	$c13 + c32 - cc12$	36
(1,2)	(1,4) - (4,2)	$c14 + c42 - cc12$	134
(1,2)	(1,5) - (5,2)	$c15 + c52 - cc12$	240
(1,2)	(1,6)-(6,2)	$c16 + c62 - cc12$	138
(2,1)	(2,3) - (3,1)	$c23 + c31 - cc21$	36
(2,1)	(2,4) - (4,1)	$c24 + c41 - cc21$	134
(2,1)	(2,5) - (5,1)	$c25 + c51 - cc21$	240
(2,1)	(2,6) - (6,1)	$c26 + c61 - cc21$	138

Tabel menyimpan pelanggan yang bisa disisipkan dalam *subtour* (1,2)-(2,3)-(3,1) beserta tambahan jaraknya, seperti pada Tabel 3. Tabel 3 memperlihatkan tambahan jarak terkecil diperoleh

apabila pada arc(2,3) disisipkan dengan arc (2,4) dan arc (4,3). *Subtour* (1,2)-(2,3)-(3,1) dapat digantikan dengan *subtour* baru dari hasil penyisipan yaitu (1,2)-(2,4)-(4,3)-(3,1).

Tabel 3. Menentukan Arc (1,2)-(2,3)-(3,1) yang akan diganti

Arc yang akan diganti	Arc yang akan ditambahkan	Tambahan Jarak	Total
(1,2)	(1,4) - (4,2)	$c14 + c42 - cc12$	134
(1,2)	(1,5) - (5,2)	$c15 + c52 - cc12$	240
(1,2)	(1,6) - (6,2)	$c16 + c62 - cc12$	138

(2,3)	(2,4) - (4,3)	$c_{24} + c_{43} - cc_{23}$	98
(2,3)	(2,5) - (5,3)	$c_{25} + c_{53} - cc_{23}$	204
(2,3)	(2,6) - (6,3)	$c_{26} + c_{63} - cc_{23}$	170
(3,1)	(3,4) - (4,1)	$c_{34} + c_{41} - cc_{31}$	98
(3,1)	(3,5) - (5,1)	$c_{35} + c_{51} - cc_{31}$	204
(3,1)	(3,6) - (6,1)	$c_{36} + c_{61} - cc_{31}$	138

Tabel dilanjutkan dengan mencari lagi *subtour* baru yang menyimpan kota yang bisa disisipkan dalam *subtour* beserta tambahan jaraknya, seperti pada Tabel 4. Tabel 4 memperlihatkan tambahan jarak terkecil diperoleh

apabila pada arc (4,3) disisipkan dengan arc (4,6) dan arc (6,3). *Subtour* (1,2)-(2,4)-(4,3)-(3,1) dapat digantikan dengan *subtour* baru dari hasil penyisipan yaitu (1,2)-(2,4)-(4,6)-(6,3)-(3,1).

Tabel 4. Menentukan Arc (1,2)-(2,4)-(4,3)-(3,1) yang akan diganti

Arc yang akan diganti	Arc yang akan ditambahkan	Tambahan Jarak	Total
(1,2)	(1,5) - (5,2)	$c_{15} + c_{52} - cc_{12}$	240
(1,2)	(1,6) - (6,2)	$c_{16} + c_{62} - cc_{12}$	138
(2,4)	(2,5) - (5,4)	$c_{25} + c_{54} - cc_{24}$	106
(2,4)	(2,6) - (6,4)	$c_{26} + c_{64} - cc_{24}$	88
(4,3)	(4,5) - (5,3)	$c_{45} + c_{53} - cc_{43}$	106
(4,3)	(4,6) - (6,3)	$c_{46} + c_{63} - cc_{43}$	55
(3,1)	(3,5) - (5,1)	$c_{35} + c_{51} - cc_{31}$	204
(3,1)	(3,6) - (6,1)	$c_{36} + c_{63} - cc_{31}$	138

Tabel dilanjutkan dengan mencari lagi *subtour* baru yang menyimpan kota yang bisa disisipkan dalam *subtour* beserta tambahan jaraknya, seperti pada Tabel 5. Tabel 5 memperlihatkan tambahan jarak terkecil diperoleh

apabila pada arc (4,6) disisipkan dengan arc (4,5) dan arc (5,6). *Subtour* (1,2)-(2,4)-(4,6)-(6,3)-(3,1) dapat digantikan dengan *subtour* baru dari hasil penyisipan yaitu (1,2)-(2,4)-(4,5)-(5,6)-(6,3)-(3,1).

Tabel 5. Menentukan Arc (1,2)-(2,4)-(4,6)-(6,3)-(3,1) yang akan diganti

Arc yang akan diganti	Arc yang akan ditambahkan	Tambahan Jarak	Total
(1,2)	(1,5) - (5,2)	$c_{15} + c_{52} - c_{12}$	240
(2,4)	(2,5) - (5,4)	$c_{25} + c_{54} - c_{24}$	106
(4,6)	(4,5) - (5,6)	$c_{45} + c_{56} - c_{46}$	0
(6,3)	(6,5) - (5,3)	$c_{65} + c_{53} - c_{63}$	16
(3,1)	(3,5) - (5,1)	$c_{35} + c_{51} - c_{31}$	204

Karena dari Tabel 5 semua kota sudah termasuk dalam *subtour* terakhir, maka diperoleh tur minimum (1,2)-(2,4)-(4,5)-(5,6)-(6,3)-(3,1) dengan jarak minimum $c_{12} + c_{24} + c_{45} + c_{56} + c_{63} + c_{31} = 290 \text{ km}$.

V. Kesimpulan dan Saran

Kesimpulan

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan dengan metode heuristik CIH, dapat diambil kesimpulan bahwa rute distribusi produk yang optimal bagi PT XYZ adalah NIP-CHN-KID-MKI-SRI-MTAT-NIP dengan jarak minimum 290 km.

Saran

Untuk mendapatkan hasil yang tepat guna, penelitian ini dapat dikembangkan lebih lanjut dengan cara:

- Melakukan penelitian dengan lebih banyak rute yang dipakai pada perusahaan.
- Memperhitungkan kondisi ketidakpastian yang mungkin terjadi seperti perubahan rute pengiriman, fluktuasi volume pengiriman, dan perubahan spesifikasi armada pengiriman.

Daftar Pustaka

- [1] L. V. Hignasari and E. D. Mahira, "Optimization of Goods Distribution Route Assisted By Google Map With Cheapest Insertion Heuristic Algorithm (Cih)," *Sinergi*, vol. 22, no. 2, p. 132, 2018, doi: 10.22441/sinergi.2018.2.010.
- [2] G. Gutin, "Traveling Salesman Problems," vol. 11, no. 1, pp. 336–359, 2013, doi: 10.1201/b16132-25.
- [3] S. Ezquerro Eguizábal, J. L. Moura Berodia, Á. Ibeas Portilla, and J. Benavente Ponce, "Optimization model for school transportation design based on economic and social efficiency," *Transp. Policy*, vol. 67, no. January, pp. 93–101, 2018, doi: 10.1016/j.tranpol.2018.01.015.
- [4] W. Liu, "Route Optimization for Last-Mile Distribution of Rural E-Commerce Logistics Based on Ant Colony Optimization," *IEEE Access*, vol. 8, pp. 12179–12187, 2020, doi: 10.1109/ACCESS.2020.2964328.

- [5] H. A. Taha, *Riset Operasi*, vol. 3, no. 2. 1996.
- [6] M. Yu, G. Yue, Z. Lu, and X. Pang, "Logistics Terminal Distribution Mode and Path Optimization Based on Ant Colony Algorithm," *Wirel. Pers. Commun.*, vol. 102, no. 4, pp. 2969–2985, 2018, doi: 10.1007/s11277-018-5319-z.
- [7] S. U. Sherif, P. Asokan, P. Sasikumar, K. Mathiyazhagan, and J. Jerald, "Integrated optimization of transportation, inventory and vehicle routing with simultaneous pickup and delivery in two-echelon green supply chain network," *J. Clean. Prod.*, vol. 287, p. 125434, 2021, doi: 10.1016/j.jclepro.2020.125434.
- [8] I. A. Soenandi, Y. Juan, and M. Budi, "Optimization for routing vehicles of seafood product transportation," *IOP Conf. Ser. Mater. Sci. Eng.*, vol. 277, no. 1, 2017, doi: 10.1088/1757-899X/277/1/012048.
- [9] A. Melkonyan and K. Krumme, "Innovative logistics services and sustainable lifestyles: Interdependencies, transformation strategies and decision making," *Innov. Logist. Serv. Sustain. Lifestyles Interdepend. Transform. Strateg. Decis. Mak.*, pp. 1–315, 2019, doi: 10.1007/978-3-319-98467-4.
- [10] T. Chabot, F. Bouchard, A. Legault-Michaud, J. Renaud, and L. C. Coelho, "Service level, cost and environmental optimization of collaborative transportation," *Transp. Res. Part E Logist. Transp. Rev.*, vol. 110, no. November 2017, pp. 1–14, 2018, doi: 10.1016/j.tre.2017.11.008.
- [11] U. S. Sakalli and I. Atabas, "Ant colony optimization and genetic algorithm for fuzzy stochastic Production-Distribution Planning," *Appl. Sci.*, vol. 8, no. 11, pp. 1–25, 2018, doi: 10.3390/app8112042.
- [12] Ulfasari Rafflesia, "Travelling Salesperson Problem dengan Pendekatan Heuristik," *Gradien*, vol. Vol 12, no. 2, pp. 1171–1174, 2016.