

Perencanaan Rute Distribusi Barang *Spare Part* Dengan Algoritma *Artificial Bee Colony*

Studi Kasus : Pt Padma Soode Indonesia

1st Eka Cahyaningrum

Teknik Logistik

Telkom University

Purwokerto, Indonesia

ekacahya@student.telkomuniversity.ac.id

2nd Miftahol Arifin

Teknik Logistik

Telkom University

Purwokerto, Indonesia

arifin@telkomuniversity.ac.id

3rd Syarif Hidayatulloh

Teknik Logistik

Telkom University

Purwokerto, Indonesia

syarif@telkomuniversity.ac.id

Abstrak — Penelitian ini menganalisis optimasi rute distribusi *spare part* pada PT Padma Soode Indonesia dengan menggunakan Algoritma *Artificial Bee Colony*. Tujuan penelitian ini adalah untuk mengoptimalkan rute distribusi dan mengurangi biaya operasional perusahaan. Metode yang digunakan adalah Algoritma *Artificial Bee Colony* dengan membandingkan Algoritma *Ant Colony* yang nantinya diteruskan pendekatan *split delivery* untuk mengatasi permasalahan *overloading* pada kendaraan. Data yang dianalisis mencakup delapan rute distribusi dengan mempertimbangkan kapasitas kendaraan maksimum 220 box. Hasil penelitian menunjukkan bahwa implementasi Algoritma *Artificial Bee Colony* dengan sembilan rute berhasil mengoptimalkan rute distribusi dengan memangkas waktu dan jarak tempuh lebih signifikan dibandingkan dengan Algoritma *Ant Colony* dan kondisi sebelumnya. Optimasi ini menghasilkan penghematan biaya bahan bakar dan peningkatan efisiensi operasional perusahaan. Untuk implementasi jangka pendek 1-2 tahun, direkomendasikan menggunakan outsourcing dari *Deliverer* dengan biaya Rp144.000.000 per tahun. Sedangkan untuk jangka panjang 3-5 tahun disarankan membeli armada baru tipe 136 MDL STD dengan biaya Rp166.067.114,3 per tahun, atau tipe FL 280 JW untuk periode 5-10 tahun dengan biaya Rp292.083.114,3 per tahun jika perusahaan melakukan ekspansi besar.

Kata kunci— optimasi rute, *artificial bee colony*, distribusi *spare part*, *Vehicle routing problem*, *capacitated vehicle routing problem*

I. PENDAHULUAN

Dalam era globalisasi dan persaingan industri manufaktur yang semakin intensif, pertahanan keunggulan kompetitif perusahaan menjadi sangat penting. Industri manufaktur menghadapi tantangan signifikan dalam aspek logistik, terutama pada bagian distribusi. Proses distribusi merupakan bagian integral dari rantai pasokan yang berperan penting dalam memastikan barang sampai ke konsumen tepat waktu, dengan biaya minimal, dan dalam kondisi optimal. Kemampuan perusahaan untuk menyampaikan produk ke tangan pelanggan secara cepat dan efisien tidak hanya memperkuat posisi pasar, tetapi juga meningkatkan citra brand dan service level perusahaan.

PT Padma Soode Indonesia, sebuah perusahaan manufaktur swasta yang bergerak di bidang precision metal stamping, precision plastic injection, dan kegiatan assembly,

saat ini menghadapi tantangan serius dalam proses distribusinya. Dengan tujuh armada berkapasitas 220 box, perusahaan mengalami keterlambatan pengiriman rata-rata 2-3 jam dan bahkan mencapai 5 jam per pengiriman. Data dari Mei 2023 hingga April 2024 menunjukkan penggunaan bahan bakar yang tidak efisien, berkisar antara 32.2% - 42.2% dari total biaya distribusi. Menurut penelitian Wang (2023), menjelaskan bahwa biaya bahan bakar yang lebih dari 30% dianggap tidak efisien di Asia dan ASEAN dan didukung oleh penelitian dari Suzuki and Lee (2022), memaparkan biaya bahan bakar lebih besar dari 33% dari biaya distribusi dianggap tidak berkelanjutan.

Berbagai penelitian terdahulu telah menunjukkan bahwa permasalahan distribusi dapat diselesaikan menggunakan pendekatan metaheuristik, khususnya dalam konteks *Capacitated Vehicle Routing Problem* (CVRP). CVRP merupakan pengembangan dari *Vehicle Routing Problem* (VRP) dengan kendala tambahan berupa kapasitas kendaraan yang terbatas [3]. Dibandingkan dengan pendekatan heuristik klasik, metode metaheuristik telah terbukti menghasilkan solusi yang lebih optimal [4]. Algoritma *Artificial Bee Colony* (ABC), yang terinspirasi dari perilaku koloni lebah madu dalam mencari sumber makanan, telah menunjukkan keunggulan dalam menghindari solusi lokal optimal.

Penelitian ini bertujuan untuk merancang dan menentukan desain operasional rute distribusi yang paling efisien untuk meningkatkan pengiriman produk PT Padma Soode Indonesia, serta menganalisis perbandingan distribusi sebelum dan sesudah penerapan algoritma ABC dalam konteks biaya, ketepatan waktu pengiriman, dan kepuasan pelanggan. Hasil penelitian ini diharapkan dapat menjadi panduan bagi perusahaan lain yang menghadapi tantangan serupa dalam mengelola distribusi barangnya, serta membuka peluang untuk pengembangan lebih lanjut dalam teknologi optimasi distribusi, termasuk integrasi dengan sistem informasi logistik yang lebih canggih.

II. KAJIAN TEORI

A. Transportasi

Transportasi merupakan salah satu elemen krusial dalam manajemen logistik dan rantai pasokan perusahaan. Transportasi sendiri merupakan usaha pemindahan atau pergerakan dari suatu lokasi ke lokasi lainnya dengan menggunakan alat tertentu. Pemilihan moda transportasi

yang tepat dapat berdampak signifikan pada biaya logistik dan tingkat layanan yang diberikan. Perusahaan seringkali menghadapi pertukaran (*trade-off*) antara biaya transportasi dengan kinerja pengiriman Novianti (2022). Moda transportasi yang lebih murah seperti angkutan darat dan laut cenderung lebih lambat, sementara transportasi udara lebih cepat namun lebih mahal. Tantangan utama adalah menyeimbangkan biaya dan waktu untuk memenuhi kepuasan pelanggan secara optimal

B. Distribusi

Distribusi merupakan serangkaian aktivitas pemindahan produk mulai dari produsen hingga ke tangan konsumen akhir [6]. Distribusi mencakup perencanaan, pelaksanaan, dan pengendalian aliran produk baik secara fisik maupun nonfisik dari titik awal ke titik konsumsi dengan tujuan memaksimalkan kepuasan konsumen dan profitabilitas produsen serta distributor. Aktivitas utama distribusi meliputi transportasi, penyimpanan, dan penanganan material. Dengan sistem distribusi yang efektif, kelancaran arus barang dari pabrik sampai ke tangan konsumen akhir dapat tercapai. Distribusi memainkan peran strategis dalam operasional rantai pasok sebuah perusahaan.

C. Sistem Distribusi dan Tantangan

Sistem distribusi merupakan serangkaian aktivitas yang bertujuan untuk menyebarkan produk dari produsen ke konsumen [7]. Sistem distribusi meliputi transportasi, penyimpanan, dan penanganan material. Sistem distribusi yang efektif sangat penting bagi kelancaran arus barang dari pabrik sampai ke tangan konsumen.

Menurut penelitian yang dilakukan oleh Abdul dan Evitha Abdul and Evitha (2019), menjelaskan bahwa proses distribusi memiliki berbagai macam desain sebagai berikut; distribusi langsung, dalam model distribusi langsung, perusahaan manufaktur menjual produknya secara langsung kepada konsumen akhir tanpa melalui perantara. Ini sering dilakukan oleh perusahaan dengan jaringan penjualan langsung atau e-commerce, kedua distribusi tidak langsung, dalam model ini, perusahaan manufaktur menggunakan perantara seperti distributor, grosir, atau pengecer untuk menjual produknya kepada konsumen akhir, ketiga distribusi eksklusif, perusahaan manufaktur memberikan hak eksklusif kepada satu atau beberapa distributor untuk menjual produknya di wilayah tertentu, keempat distribusi intensif, perusahaan manufaktur berusaha untuk mendistribusikan produknya melalui sebanyak mungkin saluran distribusi di pasar sasaran, kelima distribusi selektif, perusahaan manufaktur memilih beberapa distributor kunci di pasar sasaran untuk mendistribusikan produknya, keenam cross-docking, proses distribusi di mana barang tidak disimpan di gudang, tetapi langsung dipindahkan dari truk pengangkut ke truk pengiriman untuk dikirimkan kepada pelanggan.

Beberapa tantangan yang dihadapi sistem distribusi antara lain fluktuasi permintaan, keterbatasan kapasitas, dan ketidakpastian [9]. Oleh karena itu, dibutuhkan perencanaan dan pengendalian yang matang agar sistem distribusi dapat beroperasi secara optimal.

D. Biaya Operasional

Biaya dapat didefinisikan sebagai pengeluaran finansial atau jumlah dana yang harus dikeluarkan oleh suatu badan usaha atau organisasi dengan tujuan untuk menciptakan suatu

produk, baik berupa barang maupun jasa [10]. Biaya operasional distribusi merupakan salah satu komponen biaya logistik yang sangat krusial bagi perusahaan dalam rantai pasokan. Berbagai penelitian telah dilakukan untuk mengidentifikasi dan menganalisis berbagai jenis biaya yang terlibat dalam proses pendistribusian produk dari produsen hingga ke tangan konsumen akhir. Menurut Bambang Darmawan, Dwi Novi Wulansari, (2023), komponen utama biaya distribusi meliputi biaya transportasi, biaya penanganan material, biaya persediaan, biaya fasilitas, serta biaya pengolahan informasi dan pemesanan. Lebih lanjut, Kristikareni, Rokhman and Poernomo, (2021) merinci bahwa biaya transportasi merupakan kontributor terbesar, mencakup biaya bahan bakar, biaya pemeliharaan kendaraan, biaya sewa kendaraan, serta biaya tenaga kerja pengemudi dan pengangkutan.

E. Vehicle Routing Problem

Vehicle Routing Problem merupakan *combinatorial optimization* dan *integer programming problem* digunakan untuk pengambilan keputusan. Contohnya, VRP dapat digunakan untuk menentukan rute optimal dalam proses distribusi barang dari suatu perusahaan kepada konsumen atau pelanggan. Selain itu. Dalam VRP, terdapat istilah "depot" merujuk pada lokasi perusahaan atau produsen yang menghasilkan barang, sementara "node" merujuk pada lokasi pelanggan atau konsumen yang menerima barang dari perusahaan tersebut [13]. Tujuan utama dari VRP adalah untuk meminimalkan total biaya yang terkait dengan proses pendistribusian barang.

F. Klasifikasi VRP

Klasifikasi VRP memungkinkan pengelompokan masalah ke dalam kategori-kategori tertentu berdasarkan karakteristik dan batasan yang dipertimbangkan. Beberapa faktor yang menjadi dasar klasifikasi VRP antara lain kapasitas kendaraan, jendela waktu pengiriman, aktivitas pengambilan dan pengantaran barang, periode waktu pelayanan, jumlah depot, kemungkinan pemisahan permintaan pelanggan, heterogenitas armada kendaraan, urutan pengambilan dan pengiriman, serta pertimbangan aspek lingkungan. Menurut Wahyuningsih (2019), VRP memiliki variasi yang berbeda beda, beberapa contoh variasi dari VRP antara lain sebagai berikut:

1. *Capacitated VRP (CVRP)*
Masalah di mana setiap kendaraan memiliki kapasitas yang terbatas dan harus melayani permintaan pelanggan tanpa melebihi kapasitas tersebut.
2. *VRP with Time Windows (VRPTW)*
Masalah di mana setiap pelanggan memiliki jendela waktu yang harus dipenuhi saat melakukan pengiriman atau pengambilan barang.
3. *VRP with Pickup and Delivery (VRPPD)*
Masalah di mana kendaraan harus mengambil dan mengantarkan barang ke pelanggan yang berbeda.
4. *Periodic VRP (PVRP)*
Masalah di mana pelanggan harus dilayani dalam periode waktu tertentu (harian, mingguan, atau bulanan).
5. *Multi-Depot VRP (MDVRP)*
Masalah di mana terdapat beberapa depot (gudang atau fasilitas) tempat kendaraan berangkat dan kembali.

6. *Split Delivery VRP* (SDVRP)
Masalah di mana permintaan pelanggan dapat dipecah dan dilayani oleh beberapa kendaraan.
7. *Heterogeneous Fleet VRP* (HFVRP)
Masalah di mana terdapat beberapa jenis kendaraan dengan kapasitas yang berbeda-beda.
8. *VRP with Backhauls* (VRPB)
Masalah di mana kendaraan harus melakukan pengambilan dan pengiriman barang secara berurutan.
9. *Green VRP* (G-VRP)
Masalah yang mempertimbangkan faktor lingkungan seperti emisi karbon atau konsumsi bahan bakar dalam penentuan rute.

G. *Capacitated Vehicle Routing Problem*

Capacitated Vehicle routing problem merupakan salah satu permasalahan dalam pengiriman barang dengan kendaraan yang memiliki kapasitas terbatas untuk mengirimkan barangnya ke konsumen. Kendaraan hanya akan mengunjungi satu lokasi satu kali, jumlah total permintaan barang yang diangkut dalam satu rute tidak melebihi kapasitas kendaraan yang melewati jalur atau rute tersebut. Setiap kendaraan akan dimulai dan berakhir di depo atau dilokasi gudang perusahaan, artinya selesai kendaraan mengirimkan barang ke lokasi konsumen maka kendaraan akan kembali ke perusahaan [15]. Hal ini dapat dilihat menggunakan persamaan (1) dibawah ini:

$$\sum_{k \in K} \sum_{i \in V} \sum_{j \in V} C_{ij} X_{ijk} \quad (1)$$

Dimana:

$$X_{ijk} = \begin{cases} 1 \\ 0 \end{cases}$$

K = Jumlah kendaraan yang digunakan

C_{ij} = jarak antara node i ke node j

H. *Algoritma Artificial Bee Colony*

Algoritma Artificial Bee Colony (ABC) adalah metode metaheuristik yang dikembangkan oleh Dervis Karaboga pada tahun 2005 [16]. Algoritma ini terinspirasi dari cara koloni lebah madu mencari makanan secara efektif dan efisien di alam. Dalam implementasinya, ABC menggunakan tiga komponen utama yang meniru perilaku lebah sesungguhnya, yaitu *Scout Bee* (Lebah Pengintai) yang bertugas mencari sumber makanan secara acak di sekitar sarang, *Employed Bee* (Lebah Pekerja) yang mengunjungi sumber makanan dan mengumpulkan informasi, serta *Onlooker Bee* (Lebah Penjaga) yang memanfaatkan informasi dari lebah pekerja. Cara kerja algoritma ini merefleksikan perilaku alami lebah dimana ketika seekor lebah menemukan sumber makanan, ia akan mengkomunikasikan tiga informasi penting kepada lebah lainnya: arah sumber makanan, jarak dari sarang, dan kualitas sumber makanan tersebut

III. METODE

Metodologi penelitian ini dilakukan di PT Padma Soode Indonesia yang berfokus pada optimasi skema pemetaan wilayah operasional distribusi produk menggunakan armada truk. Penelitian menggunakan kombinasi data primer yang diperoleh langsung dari perusahaan melalui wawancara dengan divisi logistik, serta data sekunder dari studi pustaka. Observasi lapangan juga dilakukan untuk memahami implementasi proses distribusi yang ada. Analisis data

menggunakan software Visual Studio Code dengan bahasa Python, menerapkan metode *Capacitated Vehicle Routing Problem* (CVRP) dan algoritma *Artificial Bee Colony* (ABC). Alur penelitian terdiri dari empat tahap utama: pengumpulan data melalui studi lapangan dan literatur untuk mendapatkan informasi seperti data lokasi, pelanggan, jarak, waktu, kapasitas kendaraan, dan history demand; pengolahan data dengan uji validitas dan perhitungan menggunakan metode ABC yang mencakup *initialization phase*, *employed bees phase*, *onlooker bees phase*, dan *scout bees phase*; analisis perbandingan antara rute yang telah diterapkan dengan rute optimal yang dihasilkan; dan terakhir penarikan kesimpulan serta pemberian saran sesuai dengan tujuan penelitian.

A. Singkatan dan Akronim

Definisikan singkatan dan akronim saat pertama kali digunakan dalam teks, bahkan setelah didefinisikan dalam abstrak. Jangan menggunakan singkatan dalam judul kecuali jika tidak dapat dihindari.

B. Persamaan

. Menurut Okwu dan Tartibu pada tahun 2021 Okwu and Tartibu , (2021) tahapan tahapan *Artificial Bee Colony* sebagai berikut:

1. *Initialization Phase*

Seluruh vektor atau solusi dari populasi sumber makanan akan diseleksi para lebah untuk menentukan solusi terbaik. Pada tahap ini akan diberikan nilai percobaan dari setiap kemungkinan solusi yaitu 0. Proses initialization dari kemungkinan solusi dilakukan secara acak dengan menggunakan persamaan (2) berikut:

$$X_{ij} = X_{jmin} + rand(0.1)(X_{jmax} - X_{jmin}) \quad (2)$$

Dimana:

X_{ij} = inisialisasi kemungkinan solusi ke - i dengan parameter ke - j

X_{jmin} = nilai kemungkinan solusi terkecil berdasarkan parameter ke - j

X_{jmax} = nilai kemungkinan solusi terbesar berdasarkan parameter ke - j

$rand(0.1)$ = nilai random anatar 0 sampai 1

i = 1.. SN, SN merupakan jumlah kemungkinan solusi atau sumber makanan

j = 1..D, D merupakan jumlah paramater yang digunakan

2. *Employed Bees Phase*

Employed bees mencari sumber makanan baru atau solusi baru yang berdekatan dengan solusi yang sudah ada atau dengan kata lain memperluas sumber makananya, maka menggunakan persamaan (3) dibawah ini:

$$V_{ij} = X_{ij} + \Phi_{ij} (X_{kj} - X_{ij}) \quad (3)$$

Dimana:

V_{ij} = nilai perluasan kemungkinan solusi ke - i dengan parameter j

X_{ij} = nilai kemungkinan solusi ke - i dengan paramter j

Φ_{ij} = bilangan real acak antara -1 sampai 1

k = 1..SN, SN merupakan jumlah parameter yang digunakan

i = 1.. SN, SN merupakan jymlah kemungkinan solusi

j = 1.. D, D adalah jumlah paramter yang digunakan

Setelah itu mengaplikasikan *greedy selection* anatar nilai kemungkinan solusi X_i dengan nilai solusi baru yaitu V_i . Solusi yang telah diperluas akan dibandingkan dengan nilai inisialisasi yang akan dihitung menggunakan fungsi *Fitness* dengan persamaan (4) :

$$fitness(x_i) = \begin{cases} \frac{1}{1+f(x_i)}, & f(x_i) \geq 0 \\ 1 + |f(x_i)|, & f(x_i) < 0 \end{cases} \quad (4)$$

3. Onlooker Bees Phase

Tahap *employed bees* terpenuhi dan telah dihitung probabilitasnya maka informasi akan diteruskan ke *onlooker bees* dan *onlooker bees* akan menghitung nilai pronabilitas dari setiap kemungkinan menggunakan persamaan (5) berikut :

$$P_i = \frac{fitness_i}{\sum_{i=1}^{SN} fitness_i} \quad (5)$$

$fitness_i$ = nilai *Fitness* solusi ke $-i$

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

4. Scout Bees Phase

Pada proses ini akan dipilih bilangan real acak untuk setiap kemungkinan solusi, jika nilai P_i lebih besar dari bilangan yang ditentukan maka lebah akan menugaskan *employed bee* untuk mmeperluas kembali kemudian akan diaplikasikan *greedy selection* anatar nilai kemungkinan solusi dengan nilai baru perluasan. Proses ini berulang sampai perluasan sesuai dengan kemungkinan solusi nantinya akan dipilih solusi yang percobaan maksimum dan dijadikan pilihan terbaik.

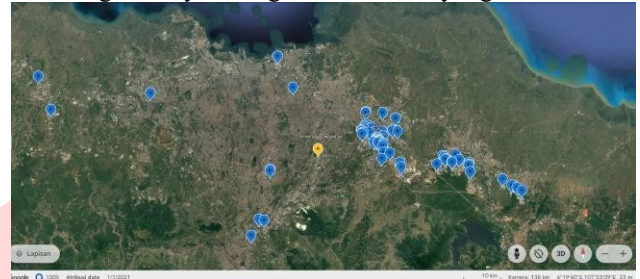
IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Data Input

TABEL 1
(A)

No	Kode Pelanggan	Demand (Box)	Latitute	Longitude
0	PSI	0	-6.351298834498	106.976484213215
1	MRT	22	-6.334974379836	107.107695186661
2	PTC	30	-6.326949971010	107.119260694044
3	KTC	27	-6.334490777427	107.112320044090
4	SMT	37	-6.331790147363	107.117937371944
5	NSK	19	-6.318384707144	107.118561551347
6	NMI	25	-6.338361390610	107.130114029099
7	SGA	16	-6.321427930882	107.129227297248
8	MCD	34	-6.333105078169	107.118265563842
9	KNT	14	-6.341082395750	107.130987553481
10	SSU	24	-6.335968010703	107.116012145919
11	SDR	31	-6.324714075057	107.116091101703
12	TRC	18	-6.336463170113	107.116649008556
13	ORN	27	-6.330266315471	107.116722429783
14	SSP	30	-6.267021487758	107.088335860814
15	SKI	21	-6.313044036498	107.081066027477
16	E2I	43	-6.324520058013	107.113799313089
17	EPH	35	-6.327791305655	107.116212746026

Mengelola operasional distribusi, perusahaan perlu memiliki data yang terorganisir mengenai pelanggan yang akan dilayani. Daftar pelanggan menjadi komponen penting dalam perencanaan rute dan alokasi sumber daya kendaraan untuk memastikan pengiriman yang efisien. Hal ini membantu perusahaan dalam mengoptimalkan jadwal pengiriman dan memenuhi permintaan pelanggan secara tepat waktu. Berdasarkan Gambar 1 (A) dan (B) yang ditampilkan, pelanggan PT Padma Soode Indonesia tersebar di berbagai wilayah dengan konsentrasi yang berbeda-beda.



GAMBAR 1
(A)



GAMBAR 1
(B)

No	Kode Pelanggan	Demand (Box)	Latitute	Longitude
18	PTM	22	-6.264975732402	107.088702233750
19	E4R	27	-6.324727504320	107.112927262055
20	EPE	29	-6.325419373866	107.115318206221
21	PRG	32	-6.316086373830	107.079691178239
22	SDG	25	-6.393106940192	107.171588562295
23	TCO	36	-6.360341882698	107.144882046978
24	CYD	16	-6.310213278459	107.163512263391
25	SHG	21	-6.279639012743	107.158421849509
26	EEM	28	-6.327593788420	107.116605713397
27	KWI	33	-6.369428640683	107.272671840698
28	KYK	15	-6.387744971781	107.331889011051
29	JYN	24	-6.382972050096	107.168791550080
30	KSIN	33	-6.308373605455	107.151274738678
31	TNM	12	-6.310328092286	107.126925787186
32	YZU	21	-6.344548860533	107.127840837649
33	YMA	29	-6.302442472629	107.102740332428
34	EMI	20	-6.313044473541	107.096990540483
35	ASI	17	-6.373731918025	107.126278555881
36	BND	13	-6.307213683587	107.077649930363
37	HTI	33	-6.267261517952	107.127843040641
38	YNS	21	-6.313387278008	107.083795419956
39	OGY	15	-6.303751893926	107.083981916325
40	YPA	25	-6.310834469911	107.109846110627
41	NDC	30	-6.299143758842	107.085405154922
42	NOK	18	-6.297850658382	107.092733915824
43	ISZ	23	-6.435876179000	107.431485757513
44	JKT	28	-6.404345099970	107.334055081786
45	JVC	14	-6.382858812152	107.331601003785
46	KDH	22	-6.389345957447	107.330199614213
47	FCC	27	-6.366927074256	107.269333753992
48	CKU	16	-6.309369499603	107.079055658561
49	BTD	18	-6.221314179172	106.584161289814
50	SNC	34	-6.364334346728	107.299139808125
51	KCF	26	-6.381925879947	107.290191570271
52	VS	13	-6.358802760276	107.130149343788
53	KYM	23	-6.375271574977	107.274987434754
54	FSP	31	-6.374273108825	107.276435551545
55	PIX	18	-6.382140149073	107.291330387924
56	XCT	14	-6.402002775946	106.864261596759
57	TOA	11	-6.398576029556	106.864859219752
58	MLC	35	-6.517308778980	106.850064200411
59	ABN	15	-6.386380119328	107.255063690298
60	LMN	22	-6.309369789747	107.079206358471

No	Kode Pelanggan	Demand (Box)	Latitute	Longitude
61	ATP	28	-6.376334188373	107.308004209137
62	JCL	17	-6.441803851319	107.444266969773
63	KWC	45	-6.421418546755	107.410108572036
64	KTB	32	-6.448411206173	107.455831041454
65	FDR	19	-6.514849116703	106.838171910261
66	AJT	19	-6.135479606834	106.881955911041
67	CTR	16	-6.553100406273	106.820083371896
68	CTS	21	-6.259475763332	106.350994508556
69	YMI	33	-6.207770809551	106.917903381774
70	INS	15	-6.182011171529	106.321037000095
71	EP3	34	-6.325806280116	107.115357836688
72	TLE	26	-6.327089986719	107.116055702198
73	DNS	28	-6.293357442639	107.090277083882
Total Muatan		1785		

B. Testing Hasil

TABEL 2
(A)

No	Maximum Iterasi	Counter	Perco baan	Vehicle = 7	Vehicle = 8	Vehicle = 9
1	500	5	1	0.00253036437246963	0.0034364261168384	0.00247341083353945
			2	0.00240442414041836	0.0034364261168384	0.00273298715496037
			3	0.00254647313470842	0.0034364261168384	0.00249376558603491
			4	0.00265674814027630	0.0034364261168384	0.00271002710027100
		50	1	0.00264270613107822	0.0034364261168384	0.00269978401727861
			2	0.00223813786929274	0.0034364261168384	0.00263574064312071
			3	0.00263921879123779	0.0034364261168384	0.00280504908835904
			4	0.00264270613107822	0.0034364261168384	0.00249376558603491
		1000	1	0.00261164794985635	0.0034364261168384	0.00267022696929238
			2	0.00249066002490660	0.0034364261168384	0.00260213374967473
			3	0.00246487552378604	0.0034364261168384	0.00255950857435372
			4	0.00266666666666666	0.0034364261168384	0.00275862068965517
		5	1	0.00242248062015503	0.0024461839530332	0.00294724432655467
			2	0.00263435194942044	0.0034364261168384	0.00273298715496037
			3	0.00254647313470842	0.0034364261168384	0.00303951367781154
			4	0.00248880039820806	0.0034364261168384	0.00269978401727861
2	1000	50	1	0.00229463056447911	0.0034364261168384	0.00284900284900284
			2	0.00242013552758954	0.0034364261168384	0.00266951414842498
			3	0.00244319569997556	0.0034364261168384	0.00266951414842498
			4	0.00248694354638149	0.0034364261168384	0.00263782643102083
		1000	1	0.00238379022646007	0.0034364261168384	0.00251825736590279
			2	0.00256607646907877	0.0034364261168384	0.00266951414842498
			3	0.00238379022646007	0.0034364261168384	0.00263157894736842
			4	0.00240442414041837	0.0034364261168384	0.00273672687465790

No	Maximum Iterasi	Counter	Percobaan	Vehicle = 7	Vehicle = 8	Vehicle = 9
3	1500	5	1	0.00263713080168776	0.0034364261168384	0.00263574064312071
			2	0.00246669955599408	0.0034364261168384	0.00277854959711030
			3	0.00267881060809000	0.0034364261168384	0.00258464719565779
			4	0.00263852242744063	0.0034364261168384	0.00269978401727861
		50	1	0.00263713080168776	0.0034364261168384	0.00264830508474576
			2	0.00266666666666666	0.0034364261168384	0.00264200792602377
			3	0.00254647313470842	0.0034364261168384	0.00252589037635766
			4	0.00261643118785975	0.0034364261168384	0.00282965478211658
		1000	1	0.00251762336354481	0.0034364261168384	0.00240558094779889
			2	0.00240615976900866	0.0034364261168384	0.00266951414842498
			3	0.00259807742270719	0.0034364261168384	0.00273448181569592
			4	0.00244618395303326	0.0034364261168384	0.00258264462809917
4	2000	5	1	0.00247892910262766	0.0034364261168384	0.00291205591147300
			2	0.00242189392104625	0.0034566194262011	0.00251889168765743
			3	0.00268168409761330	0.0034364261168384	0.00254258835494533
			4	0.00253356979984798	0.0034364261168384	0.00273298715496037
		50	1	0.00262054507337526	0.0034364261168384	0.00284738041002277
			2	0.00265674814027630	0.0034364261168384	0.00261643118785975
			3	0.00251762336354481	0.0034364261168384	0.00287026406429391
			4	0.00259403372243839	0.0034364261168384	0.00263574064312071
		1000	1	0.00259201658890616	0.0034364261168384	0.00301568154402895
			2	0.00243427458617332	0.0034364261168384	0.00263991552270327
			3	0.00240615976900866	0.0034364261168384	0.00262054507337526
			4	0.00262881177707676	0.0034364261168384	0.00263574064312071

Berdasarkan Tabel 4.19 menunjukkan variasi performa atau hasil running dari berbagai kondisi percobaan dengan fokus pada parameter maximum iterasi dan *Counter*. Dari keseluruhan data, terlihat bahwa *Vehicle* dengan jumlah 9 secara konsisten memiliki nilai yang lebih tinggi 0.00303951367781154 dibandingkan *Vehicle* berjumlah 8 yang sama secara konsisten memiliki nilai yang lebih tinggi yaitu 0.00343642611683848 dan dibandingkan nilai *Fitness* pada *Vehicle* jumlah 7 yang menunjukkan fluktuasi nilai yang lebih rendah. Percobaan ke-3 pada maximum iterasi 2000 dan *Counter* 5 menampilkan nilai tertinggi untuk *Vehicle* 7 yaitu 0.00268168409761330, yang dapat dipertimbangkan sebagai konfigurasi optimal. Menariknya, meskipun terdapat variasi dalam jumlah iterasi (500, 1000, 1500, 2000) dan *Counter* (5, 50, 1000), pola nilai relatif stabil dengan sedikit perubahan, mengindikasikan konsistensi model dalam berbagai skenario pengujian.

C. Hasil Algoritma Bee Colony

TABEL 3
(A)

No	Ukuran	Initial Model	Perbandingan Jumlah Kendaraan		
			7	8	9
1	Jarak (Km)	2949.75	1611,9	2117,95	2212,5
2	Waktu (Menit)	7078	2617	2780	3389
3	Biaya	Rp 409.353.061	Rp 223.692.245	Rp 257.179.629	Rp 238.809.524
4	Time Lapse (Menit)	23.65	8.74	9.28	11.28

Tabel 2 (A) menyajikan perbandingan antara ketiga hasil dengan jumlah kendaraan yang berbeda menggunakan *Algoritma Bee Colony*, berdasarkan beberapa ukuran kinerja yang relevan. Dari segi jarak yang ditempuh, *Algoritma Bee Colony* dengan tujuh kendaraan menunjukkan hasil yang lebih efisien dengan total jarak 1611,9 Km, dibandingkan dengan yang berjumlah delapan dan sembilan yaitu 2117,95 Km dan 2212,5 Km dan ketiganya lebih efisien dibandingkan initial model dengan jarak 2949,75 Km. Dalam hal waktu, *Algoritma Bee Colony* dengan tujuh kendaraan juga lebih unggul, memerlukan waktu 2617 menit, sedangkan yang lain membutuhkan waktu lebih lama.

Membandingkan dari perspektif biaya, *Algoritma Bee Colony* dengan kendaraan berjumlah tujuh jauh lebih menguntungkan dengan total biaya Rp 223.692,245, sementara kedua yang lain dari segi biaya yang jauh lebih

tinggi. Terakhir, *Time Lapse* pada *Algoritma Bee Colony* dengan jumlah kendaraan tujuh adalah 8.74 menit, sedangkan pada jumlah kendaraan delapan dan sembilan lebih tinggi. Secara keseluruhan, hasil perbandingan ini menunjukkan bahwa *Algoritma Bee Colony* dengan kendaraan berjumlah tujuh lebih efisien.

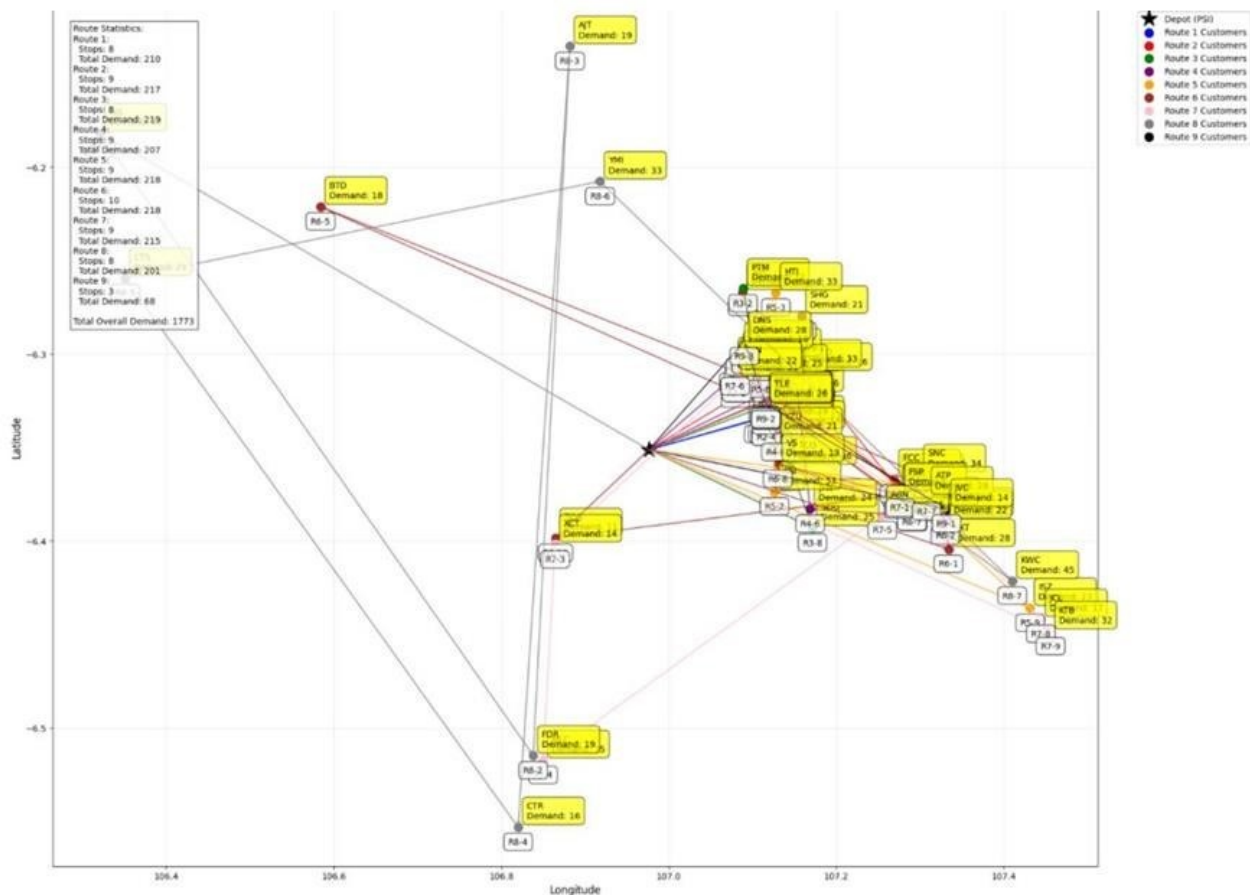
Namun dalam hal ini kapasitas total armada yang tersedia saat ini tidak mampu memenuhi keseluruhan *demand* yang ada jika menggunakan kendaraan berjumlah tujuh dan depan seperti yang sudah ditampilkan pada Tabel 4.12 dan 4.13. Total permintaan yang signifikan melebihi kapasitas angkut armada, sehingga solusi tanpa penambahan armada baru akan menjadi solusi yang tidak feasible (*infeasible*). *Infeasible solution* adalah suatu solusi yang tidak dapat dilaksanakan atau tidak layak untuk diimplementasikan

karena tidak memenuhi batasan-batasan atau persyaratan yang ada [18]. Dalam konteks optimasi, solusi *infeasible* berarti solusi tersebut tidak memenuhi kendala-kendala utama yang telah ditetapkan, seperti keterbatasan kapasitas, atau persyaratan tertentu.

Mengatasi keterbatasan ini, diperlukan strategi penambahan jumlah armada guna memastikan seluruh kebutuhan pengangkutan dapat terpenuhi secara optimal. Tanpa melakukan penambahan armada, sistem distribusi yang direncanakan tidak akan dapat berjalan dengan efektif dan risikan mengalami kegagalan dalam memenuhi seluruh permintaan yang ada. Berikut merupakan Tabel 4.16 yang memaparkan ringkasan dari hasil *improvement* penggunaan *algoritma artificial bee colony* sebagai berikut.

TABEL 3
(B)

Vehicle	Rute Awal	Rute Improvement	Jarak Awal (Km)	Jarak Improvement (Km)	Kapasitas Awal (Kg)	Kapasitas Improvement (Kg)	Biaya Awal	Biaya Improvement
1	PSI → MRT → PTC → KTC → SMT → NSK → NMI → SGA → MCD → KNT → PSI → SSU → SDR → TRC → ORN → SSP → SKI → PSI	PSI → MRT → PTC → KTC → SMT → NSK → NMI → SGA → MCD → PSI	182.2	69.9	266	210	Rp.223.845,71	Rp.67.902,85
2	PSI → E2I → EPH → PTM → PSI	PSI → SDR → SSU → KNT → TRC → ORN → SSP → PIX → E2I → TNM → PSI	62.4	133	225	217	Rp.60.617,14	Rp.129.200
3	PSI → E4R → EPE → PRG → SDG → TCO → CYD → SHG → EEM → PSI → KWI → KYK → JYN → KSIN → TNM → YZU → PSI	PSI → EPH → PTM → E4R → EPE → PRG → BND → TCO → SDG → PSI	228.8	112	266	219	Rp.223.845,71	Rp. 108.800
4	PSI → YMA → EMI → ASI → BND → HTI → YNS → OGY → YPA → NDC → PSI → NOK → ISZ → PSI	PSI → CYD → SHG → EEM → EMI → KYK → JYN → KSIN → YZU → YMA → PSI	228.7	117.9	328	207	Rp. 222.165,7	Rp.108.800
5	PSI → JKT → JVC → KDH → FCC → CKU → BTD → SNC → KCF → VS → PSI → KYM → FSP → PSI	PSI → KWI → ASI → HTI → YNS → OGY → YPA → NDC → NOK → ISZ → PSI	456.7	225.6	211	215	Rp. 443.651,4	Rp. 219.154,28
4	PSI → JKT → JVC → KDH → FCC → CKU → BTD → SNC → KCF → VS → PSI → KYM → FSP → PS	PSI → JKT → KDH → FCC → CKU → BTD → SNC → KCF → VS → KYM → TOA → PSI	1133,5	424,8	250	218	Rp. 1.101.114	Rp. 412.662,85
5	PSI → EP3 → TLE → DNS → TCI → PSI	PSI → FSP → SKI → XCT → MLC → ABN → LMN → ATP → JCL → KTB → PSI	57.45	382.3	225	215	Rp. 55.808,57	Rp. 371.377,14
6	PSI → MRT → PTC → KTC → SMT → NSK → NMI → SGA → MCD → KNT → PSI → SSU → SDR → TRC → ORN → SSP → SKI → PSI	PSI → INS → FDR → AJT → CTR → CTS → YMI → KWC → EP3 → PSI	182.2	636	266	202	Rp. 176.994,2	Rp. 617.828,57
7	PSI → E2I → EPH → PTM → PSI	PSI → JVC → TLE → DNS → PSI	62.4	111	225	68	Rp. 60.617,14	Rp. 107.828,57
8		PSI → MRT → PTC → KTC → SMT → NSK → NMI → SGA → MCD → PSI		69.9		210		Rp. 67.902,85
9		PSI → SDR → SSU → KNT → TRC → ORN → SSP → PIX → E2I → TNM → PSI		133		217		Rp. 129.200



GAMBAR 2
(A)

D. Solusi Alternatif

TABEL 4
(A)

No	Nama	Jenis	Kapasitas	Harga	Harga per 6 Bulan
1	PT Andos	Double Engkel	13,56	Rp800.000	Rp96.000.000
2	Kargo.Tech	Pickup Box	3,99	Rp522.000	Rp62.640.000
		Engkel Box	7,68	Rp780.000	Rp93.600.000
		CDD Box	18	Rp980.000	Rp117.600.000
3	Deliverree	Mobil Box Besar	11,25	Rp600.000	Rp72.000.000
		Engkel CDE	9	Rp900.000	Rp108.000.000
		Double Engkel Box	18	Rp1.200.000	Rp144.000.000
		CDD Long	41	Rp1.350.000	Rp167.000.000
		Fuso	25	Rp2.000.000	Rp240.000.000
		Double Engkel Bak	16,2	Rp1.500.000	Rp180.000.000
4	Satrio Langit	CDE	5	Rp900.000	Rp108.000.000
		CDD	8	Rp1.200.000	Rp144.000.000
		Mobil Box	5	Rp600.000	Rp72.000.000
		CD Engkel Box	6	Rp900.000	Rp108.000.000
		CD Double Box	10	Rp1.200.000	Rp144.000.000
		Fuso Wingox	27	Rp2.000.000	Rp240.000.000
		Truck Box	11	Rp1.500.000	Rp180.000.000
5	Global	CDE	6	Rp800.000	Rp96.000.000
		CDD	8	Rp1.200.000	Rp144.000.000
		Fuso	10	Rp1.800.000	Rp216.000.000
		Tronton	25	Rp2.500.000	Rp300.000.000
		Truck Wingbox	30	Rp3.000.000	Rp360.000.000
		Trailer	60	Rp5.000.000	Rp600.000.000

Tabel 4 (A) *outsourcing* ini menampilkan lima perusahaan transportasi: PT Andos, Kargo.Tech, *Deliverree*, Satrio Langit, dan Global, dengan berbagai jenis kendaraan yang memiliki spesifikasi kapasitas dan harga berbeda.

Kelima *outsourcing* tersebut dapat terlihat bahwa *Deliverree* menonjol sebagai pilihan paling komprehensif, dengan rentang kapasitas terluas dari 9 m³ hingga 41 m³, memenuhi kebutuhan berbagai skala pengiriman. Variasi kendaraannya mencakup Mobil Box Besar hingga CDD Long, memberikan fleksibilitas maksimal bagi pengguna dengan harga yang kompetitif, mulai Rp72.000.000 hingga Rp240.000.000 per 6 bulan. Selain itu *Deliverree* juga memberikan pelayanan dengan harga yang tercantum termasuk dengan BBM dan driver didalamnya.

Secara keseluruhan, *Deliverree* menjadi rekomendasi utama karena kombinasi optimal antara variasi kapasitas, dan struktur harga yang kompetitif. Pilihan ini secara signifikan lebih baik dibandingkan truck sebelumnya yang hanya berkapasitas 4,41 m³, menawarkan peningkatan substansial dalam efisiensi dan pilihan logistik.

TABEL 4
(B)

No	Jenis	Kapasitas Solar	Kecepatan	Daya Tanjak	Kapasitas (m3)	Harga
1	136 HDL - Euro 4	100	109	47.5	5.04	Rp420,300,000
2	136 MD STD - Euro 4	100	123	36.7	4.41	Rp399,200,000
3	136 MDL STD - Euro 4	100	123	36.7	5.04	Rp410,200,000
4	FL 280 JW - Euro 4	200	85	53	12.88	Rp983,000,000
5	FM 280 JW - Euro 4	200	77	60	12.88	Rp1,209,000,000
6	FM 340 TH - Euro 4	200	103	33	7.36	Rp1,371,000,000

Tabel 4 (B) Armada Baru menampilkan enam jenis kendaraan dengan spesifikasi teknis dan harga berbeda, semuanya menggunakan standar Euro 4. Varian pertama adalah 136 HDL - Euro 4 dengan kapasitas solar 100, kecepatan 109, daya tanjak 47.5, kapasitas 5.04 m³, dan harga Rp420,300,000. Model 136 MD STD - Euro 4 memiliki karakteristik serupa dengan kapasitas solar 100, kecepatan 123, daya tanjak 36.7, kapasitas 4.41 m³, dan harga Rp399,200,000. Sementara 136 MDL STD - Euro 4 memiliki spesifikasi mirip dengan 136 MD STD, namun dengan kapasitas ruang muatan 5.04 m³ dan harga Rp410,200,000.

Berdasarkan pertimbangan karakteristik daerah yang dilalui yaitu perkotaan yang relatif datar tanpa tanjakan tinggi, pemilihan kendaraan 136 MDL STD - Euro 4 dan FL 280 JW - Euro 4 menjadi relevan. Kondisi infrastruktur perkotaan yang umumnya memiliki permukaan jalan rata memungkinkan kedua kendaraan beroperasi dengan efisien. Tidak adanya tanjakan ekstrem berarti mengurangi beban mesin dan konsumsi bahan bakar, sehingga mengoptimalkan performa kedua kendaraan. Berikut merupakan perbandingan kedua kendaraan tersebut dan *outsourcing* yang akan dikeluarkan dapat dilihat pada Tabel 4 (C)

TABEL 4
(C)

No	Keterangan	Outsourcing 1 Kendaraan	Outsourcing 2 Kendaraan	136 MDL STD	FL 280 JW- Euro 4
1	Harga Beli	0		Rp410.200.000	Rp983.000.000
2	Kapasitas	11,25		5,04	12,88
3	Biaya Tahunan	Rp72.000.000	Rp144.000.000	Rp166.067.114,3	Rp292.083.114,3
4	Periode Optimal	1- 2 Tahun		3-5 Tahun	5-10 Tahun

Tabel 4 (C) ini menunjukkan satu opsi kendaraan dari *Deliverree* yang dapat dipertimbangkan sebagai alternatif serta membandingkan dengan dua kendaraan yang memungkinkan untuk dibeli. Mobil box besar dari *Deliverree* memiliki kapasitas 11,25 m³ dengan biaya *outsourcing* Rp72 juta per tahun untuk 1 kendaraan dan Rp144 juta untuk 2 kendaraan. Dibandingkan dengan 136 MDL STD yang berkapasitas 5,04 m³ atau setara 251 box, dengan konsumsi bahan bakar 100 liter, harga belinya Rp410.200.000, dengan biaya bulanan Rp6.836.666 dan tahunan Rp166.067.114, mobil box besar *Deliverree* menawarkan kapasitas yang lebih besar dengan biaya yang lebih efisien. Namun, kapasitasnya masih lebih kecil dibandingkan FL 280 JW-Euro 4 yang mencapai 12,88 m³ atau 643 box dengan konsumsi 200 liter bahan bakar. Harga belinya Rp983.000.000, dengan biaya bulanan Rp16.383.333 dan tahunan Rp292.083.114.

Kebutuhan dengan jangka pendek 1-2 tahun, opsi *outsourcing* mobil box besar *Deliverree* dapat menjadi pilihan yang tepat. Biayanya yang lebih terjangkau dapat mengakomodasi fluktuasi volume pengiriman tanpa perlu melakukan investasi besar. Sementara itu, FL 280 JW-Euro 4 mungkin lebih sesuai untuk perencanaan jangka panjang, khususnya jika organisasi memproyeksikan adanya ekspansi besar dengan diiringi peningkatan volume pengiriman yang signifikan dalam 5-10 tahun ke depan. Walaupun biayanya lebih tinggi, kapasitas angkut yang besar dapat mendukung pertumbuhan usaha secara berkelanjutan.

V. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil pengelolaan dan analisis data yang telah dilakukan, Kesimpulan dari penelitian ini adalah:

1. Rancangan rute distribusi menggunakan Algoritma Artificial Bee Colony (ABC) dengan skema 9 rute

terbukti efektif untuk PT Padma Soode Indonesia, terdapat beberapa perubahan signifikan pada rute kendaraan operasional PT Padma Soode. Pada *Vehicle* 1, terjadi penyederhanaan rute yang awalnya melayani 17 titik distribusi menjadi hanya 10 titik distribusi dengan pengurangan jarak tempuh dari 182.2 km menjadi 69.9 km. Perubahan ini menghasilkan penghematan biaya yang signifikan dari Rp.223.845,71 menjadi Rp.67.902,85. *Vehicle* 2 mengalami perubahan rute dari yang awalnya hanya melayani 4 titik distribusi menjadi 10 titik distribusi. Meskipun terjadi penambahan jarak dari 62.4 km menjadi 133 km, perubahan ini memungkinkan pelayanan yang lebih merata dan optimal untuk wilayah tersebut. *Vehicle* 3 juga mengalami penyederhanaan rute yang signifikan dari 16 titik distribusi menjadi 10 titik, dengan pengurangan jarak dari 228.8 km menjadi 112 km, menghasilkan efisiensi biaya dari Rp.223.845,71 menjadi Rp.108.800.

Perubahan drastis terjadi pada *Vehicle* 7, di mana rute awal yang melayani 17 titik distribusi diubah menjadi 9 titik distribusi. *Vehicle* 8 mengalami perubahan dari 4 titik distribusi menjadi hanya melayani 4 titik yang berbeda dengan peningkatan jarak dari 62.4 km menjadi 111 km, namun dengan penyesuaian kapasitas yang lebih efisien. Secara keseluruhan, perubahan rute ini menunjukkan upaya algoritma ABC dalam mengoptimalkan distribusi dengan mempertimbangkan berbagai faktor seperti jarak, kapasitas, dan efisiensi biaya. Beberapa rute mengalami penambahan jarak namun dengan cakupan layanan yang lebih luas, sementara rute lain mengalami penyederhanaan signifikan yang menghasilkan penghematan jarak dan biaya operasional.

2. Algoritma Artificial Bee Colony (ABC) berhasil mengoptimalkan rute distribusi PT Padma Soode Indonesia dengan mengukur variabel waktu dan jarak tempuh. Hasil pengukuran menunjukkan efisiensi signifikan dimana penerapan ABC dengan skema 9 rute perjalanan dengan *outsourcing* mengurangi waktu tempuh sebesar 3689 menit dan jarak tempuh 737,25 Km dibandingkan rute awal. Efisiensi ini terlihat dari pengurangan biaya bahan bakar yang perhari sebesar Rp. 409.353,061 dan perbulan sebesar Rp.8.187.061,22. Penerapan VRP mampu menghemat dan memangkas biaya operasional bahan bakar sebanyak 58,33% dengan biaya awal sebelum penerapan VRP.

REFERENSI

- [1] et al. Wang, J., "Cost Optimization in Automotive Spare Parts Distribution Networks," *Int. J. Prod. Econ.*, vol. 258, 2023, doi: 10.1016/j.ijpe.2023.108774.
- [2] C. . Suzuki, H. & Lee, "Industrial Spare Parts Supply Chain: Fuel Efficiency Study," *Supply Chain Manag.*, vol. 27, no. 4, 2022, doi: 10.1108/SCM-06-2021-0311.
- [3] S. Elatar, K. Abouelmehdi, and M. E. Riffi, "The vehicle routing problem in the last decade: Variants, taxonomy and metaheuristics," *Procedia Comput. Sci.*, vol. 220, pp. 398–404, 2023, doi: 10.1016/j.procs.2023.03.051.
- [4] M. Iqbal, M. Zarlis, Tulus, and H. Mawengkang, "Model Pendekatan Metaheuristik Dalam Penyelesaian optimisasi Kombinatorial," *Semin. Nas. Teknol. Komput. Sains*, vol. 1, no. 1, pp. 92–97, 2020.
- [5] T. Novianti, *MANAJEMEN RANTAI PASOK METODE TEKNIK*, Metode Tek. Malang: Mendia Nusa Creative, 2022. [Online]. Available: [https://books.google.co.id/books?id=sw2hEAAAQB-AJ&lpg=PP1&ots=SGtHwQ63I-&dq=perusahaan seringkali menghadapi pertukaran \(trade-off\) antara biaya transportasi dengan kinerja pengiriman.&lr&pg=PR2#v=onepage&q&f=false](https://books.google.co.id/books?id=sw2hEAAAQB-AJ&lpg=PP1&ots=SGtHwQ63I-&dq=perusahaan%20seringkali%20menghadapi%20pertukaran%20(trade-off)%20antara%20biaya%20transportasi%20dengan%20kinerja%20pengiriman.&lr&pg=PR2#v=onepage&q&f=false)
- [6] S. L. Karundeng, Thessa Natasya Mandey and J. S. B. Sumarauw, "Analisis Saluran Distribusi Kayu (Studi Kasus Di Cv. Karya Abadi, Manado)," *J. EMBA J. Ris. Ekon. Manajemen, Bisnis dan Akunt.*, vol. 6, no. 3, pp. 1748–1757, 2020.
- [7] A. H. Mirza and D. Irawan, "Implementasi Metode Saving Matrix Pada Sistem Informasi Distribusi Barang," *J. Ilm. Matrik*, vol. 22, no. 3, pp. 316–324, 2020, doi: 10.33557/jurnalmatrik.v22i3.1050.
- [8] F. W. Abdul and Y. Evitha, "Desain Jaringan Distribusi Berbasis E-Business Pada Sistem Rantai Pasok," *J. Logistik Indones.*, vol. 3, no. 1, pp. 39–51, 2019, doi: 10.31334/jli.v3i1.349.
- [9] Siti Sahara and Y. Saputra, "Pengaruh Transportasi Darat Terhadap Kelancaran Distribusi Logistik," *J. Soc. Sci. Res.*, vol. 3, pp. 8794–8800, 2023.
- [10] A. Sri Ekowati, Meilaty Finthariasari, "Jurnal ilmiah akuntansi, manajemen & ekonomi islam (jam-ekis) volume 3, no. 1, januari 2020," *J. Ilm. Akuntansi, Manaj. Ekon. Islam*, vol. 3, no. 1, pp. 1–14, 2020.
- [11] S. K. P. Bambang Darmawan, Dwi Novi Wulansari, *Pengantar Logistik Aktivitas Dasar Dalam Kegiatan Logistik*, Aktivitas. Bandung: Indonesia Emas Group, 2023. [Online]. Available: [https://books.google.co.id/books?id=3NbtEAAAQB-AJ&lpg=PA14&ots=5v8iFSYybK&dq=komponen utama biaya distribusi meliputi biaya transportasi%2C biaya penanganan material%2C biaya persediaan%2C biaya fasilitas%2C serta biaya pengolahan informasi dan pemesanan&l](https://books.google.co.id/books?id=3NbtEAAAQB-AJ&lpg=PA14&ots=5v8iFSYybK&dq=komponen%20utama%20biaya%20distribusi%20meliputi%20biaya%20transportasi%20biaya%20penanganan%20material%20biaya%20persediaan%20biaya%20fasilitas%20serta%20biaya%20pengolahan%20informasi%20dan%20pemesanan&l)
- [12] R. D. Kristikareni, A. Rokhman, and A. Poernomo, "Analisis Rantai Pasok dan Biaya Transportasi Udang Vaname pada Unit Pengolahan di Jakarta Utara," *Bul. Ilm. Mar. Sos. Ekon. Kelaut. dan Perikan.*, vol. 7, no. 1, p. 55, 2021, doi: 10.15578/marina.v7i1.8828.
- [13] Y. S. Firmansyah, K. Novianingsih, and H. S. Husain, "Penyelesaian Capacitated Vehicle Routing Problem dengan Menggunakan Gabungan Algoritma Genetika dan Simulated Annealing," *J. EurekaMatika*, vol. 9, no. 2, pp. 107–116, 2021, doi: 10.17509/jem.v9i2.40080.
- [14] S. Wahyuningsih, D. Satyananda, L. T. Octoviana, R. N. Jurusan, M. Fmipa, and U. N. Malang, "Vehicle Routing Problem with Time Windows Variants and its Application in Distribution Optimization," *J. Mat. FMIPA*, pp. 24–35, 2019.
- [15] C. Natalia, V. Triyanti, G. Setiawan, and M. Haryanto, "Completion of Capacitated Vehicle Routing Problem (CVRP) and Capacitated Vehicle Routing Problem with Time Windows (CVRPTW) Using Bee Algorithm Approach to Optimize Waste Picking Transportation Problem," *J. Mod. Manuf. Syst. Technol.*, vol. 5, no. 2, pp. 69–77, 2021, doi: 10.15282/jmmst.v5i2.6855.
- [16] A. E. Iordan, "a Comparative Study of Meta-Heuristics Methods for Travelling Salesman Problem," *Ann. Fac. Eng. Hunedoara-International J. Eng.*, vol. 10, no. 3, pp. 1–7, 2012.
- [17] M. O. Okwu and L. K. Tartibu, "Artificial Bee Colony Algorithm," *Stud. Comput. Intell.*, vol. 927, pp. 15–31, 2021, doi: 10.1007/978-3-030-61111-8_3.
- [18] R. Ruiz, C. Maroto, and J. Alcaraz, "A decision support system for a real vehicle routing problem," *Eur. J. Oper. Res.*, vol. 153, no. 3 SPEC. ISS., pp. 593–606, 2003, doi: 10.1016/S0377-2217(03)00265-0.