

Implementasi Algoritma *Ant Colony Optimization* Untuk Optimasi Rute Distribusi Paku Log Kayu (Studi Kasus: UD Mandiri Tumbuh Bersama)

1st Tangguh Oki Anggoro
Program Studi Teknik Industri
Telkom University
Purwokerto, Kab. Banyumas, Indonesia
tangguhokia@student.telkomuniversity.ac.id

2nd Ridho Ananda
Program Studi Teknik Industri
Telkom University
Purwokerto, Kab. Banyumas, Indonesia
ridhoa@telkomuniversity.ac.id

3rd Muhammad Iqbal Faturrohman
Program Studi Teknik Industri
Telkom University
Purwokerto, Kab. Banyumas, Indonesia
iqbalfaturrohman@telkomuniversity.ac.id

Abstrak — UD Mandiri Tumbuh Bersama merupakan industri kecil yang memproduksi paku log kayu dengan 16 konsumen yang terletak di provinsi Jawa Tengah, Jawa Barat, dan Jakarta. Permasalahan yang terjadi saat ini adalah penentuan rute yang kurang optimal sehingga berdampak pada peningkatan biaya bahan bakar. *Capacitated Vehicle Routing Problem with Time Windows (CVRPTW)* merupakan salah satu metode optimasi yang dapat digunakan untuk menyelesaikan masalah penentuan rute dengan melibatkan kapasitas kendaraan dan *time windows*. Tujuan utama dari penelitian ini adalah untuk merancang rute distribusi yang optimal guna meminimalkan total biaya distribusi dengan menggunakan algoritma *Ant Colony Optimization (ACO)*. Algoritma ACO terinspirasi dari perilaku koloni semut dalam menemukan jalur terpendek menuju sumber makanan melalui mekanisme jejak feromon yang ditinggalkan.

Kata kunci — Distribusi, *Ant Colony Optimization*, Optimasi Rute, *Vehicle Routing Problem*, *Capacitated Vehicle Routing Problem with Time Windows*, Biaya Distribusi.

I. PENDAHULUAN

Perkembangan sektor industri meningkatkan persaingan ekonomi, sehingga kecepatan dan kualitas layanan menjadi kunci kepuasan konsumen, dengan manajemen rantai pasok sebagai penunjang kelancaran operasi perusahaan [1]. Rantai pasok mencakup berbagai proses, mulai dari pengadaan bahan baku, produksi, pengelolaan persediaan, hingga distribusi produk ke konsumen [2]. Buruknya koordinasi internal dan eksternal sering menghambat optimalisasi kinerja manajemen rantai pasok.

Distribusi produk merupakan tantangan utama dalam rantai pasok karena perencanaan jaringan distribusi, alokasi pengiriman, dan pemilihan sumber pasokan sangat memengaruhi biaya operasional dan kepuasan konsumen [3], [4]. Sehingga, efisiensi distribusi menjadi kunci bagi UMKM untuk memenuhi permintaan pasar secara cepat dengan biaya minimal [5], [6].

UMKM menurut UU Nomor 20 Tahun 2008 merupakan usaha yang dimiliki dan dikelola individu atau kelompok dengan modal dan penghasilan tertentu [7]. UMKM perlu

memperhatikan kualitas produk serta efisiensi distribusi melalui pemilihan saluran distribusi yang tepat [8], [9]. Hal ini guna meningkatkan penjualan dan menjaga kepercayaan konsumen [10]. Namun, masalah perencanaan dan faktor luar sering menyebabkan distribusi menjadi mahal dan terlambat [11]. Manajemen distribusi yang efisien diperlukan untuk meningkatkan kepuasan konsumen dan kinerja pemasaran [12].

UD Mandiri Tumbuh Bersama merupakan industri rumahan paku log kayu yang berfokus pada efisiensi distribusi untuk menjaga kepuasan konsumen. Namun, sistem distribusi saat ini belum optimal karena urutan kunjungan yang berubah-ubah, sehingga meningkatkan jarak tempuh dan konsumsi bahan bakar. Dengan keterbatasan kapasitas kendaraan dan batasan waktu pengiriman ke 16 konsumen, permasalahan ini dikategorikan ke dalam model *Capacitated Vehicle Routing Problem with Time Windows (CVRPTW)*.

Penelitian ini bertujuan merancang sistem distribusi menggunakan algoritma *Ant Colony Optimization (ACO)*, agar dapat menghemat biaya operasional dalam pengiriman produk. Data historis pengiriman pada bulan Mei, Juni, dan September digunakan sebagai landasan perancangan rute yang dapat dilihat pada Tabel 1 hingga Tabel 3.

TABEL 1
(Rute Awal Bulan Mei)

Mei		
Pengiriman	Rute	Total Jarak (km)
1	P-X1-X2-X3-X4-P	631,1
2	P-X5-P	87,8
3	P-X6-P	682
4	P-X7-P	218
5	P-X8-X9-P	832
6	P-X10-X11-X12-P	1.111,1
7	P-X5-P	87,8
8	P-X13-P	66

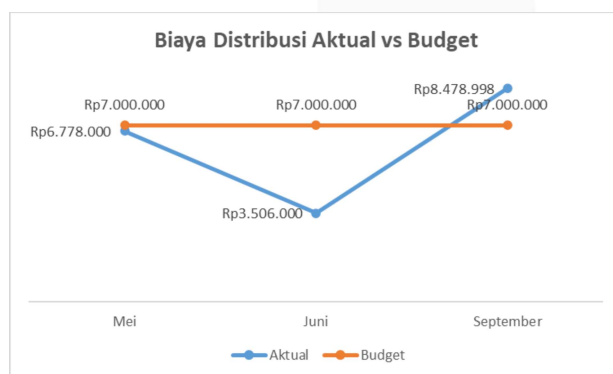
TABEL 2
(Rute Awal Bulan Juni)

Juni		
Pengiriman	Rute	Total Jarak (km)
1	P-X1-X3-X4-X2-P	631,1
2	P-X5-P	87,8
3	P-X14-P	682
4	P-X15-X11-P	218
5	P-X5-P	832
6	P-X16-P	1.111,1

TABEL 3
(Rute Awal Bulan September)

September		
Pengiriman	Rute	Total Jarak (km)
1	P-X1-X2-P	592,4
2	P-X3-X4-P	496,6
3	P-X5-P	87,80
4	P-X14-X6-P	695,3
5	P-X7-X8-X9-P	830
6	P-X10-P	600
7	P-X11-P	280
8	P-X12-X15-P	730
9	P-X5-P	87,8
10	P-X13-X16-P	114

Berdasarkan Tabel 1 hingga Tabel 3, analisis rute distribusi pada bulan Mei, Juni, dan September menunjukkan bahwa sistem distribusi perusahaan masih belum optimal. Hal ini dilihat dari ketidakkonsistenan urutan rute antar bulan meskipun melibatkan pelanggan yang relatif sama, sehingga mengindikasikan bahwa penentuan rute belum dilakukan secara matematis. Selain itu, jarak tempuh distribusi masih tergolong tinggi terutama pada bulan Mei dan September, akibat dari rendahnya efisiensi penggabungan pelanggan dalam satu rute (multi-drop) serta belum pernah dilakukan kajian optimasi terkait rute distribusi.



GAMBAR 1
(Biaya Distribusi Awal)

Gambar 1 menunjukkan perbandingan biaya distribusi aktual dengan anggaran perusahaan sebesar Rp7.000.000 per bulan. Pada bulan Mei, biaya masih berada di bawah anggaran, sedangkan Juni mencatat efisiensi 50,1% karena rute lebih pendek. Namun, biaya September melonjak 21,31% di atas anggaran yang menandakan inefisiensi akibat variabel jarak dan volume pengiriman. Hal ini menegaskan perlunya strategi optimasi rute guna menekan biaya

operasional agar tetap konsisten dengan anggaran perusahaan.



GAMBAR 2
(Diagram Sebab-Akibat Rute Distribusi Terhadap Biaya)

Perencanaan rute yang tidak efisien menyebabkan jarak tempuh pengiriman jadi lebih panjang, sehingga mesin kendaraan bekerja lebih keras dan mengeluarkan energi lebih besar yang berdampak konsumsi bahan bakar juga ikut meningkat. Hal ini berpengaruh pada biaya transportasi melonjak naik. Kondisi tersebut menurunkan efisiensi distribusi serta meningkatkan risiko keterlambatan dan kerusakan barang, sehingga penting pengaturan rute yang optimal guna menjaga efisiensi bahan bakar dan menekan biaya transportasi.

Berdasarkan permasalahan yang terjadi pada UD Mandiri Tumbuh Bersama, proses distribusi saat ini belum efisien akibat dari segi rute kunjungan konsumen, biaya aktual, dan jarak tempuh tinggi. Maka penelitian berupaya dalam perancangan sistem distribusi guna meminimalkan biaya operasional dan meningkatkan efektivitas pengiriman produk.

II. KAJIAN TEORI

A. Manajemen Rantai Pasok

Manajemen Rantai Pasok atau *Supply Chain Management* (SCM) merupakan suatu pendekatan terintegrasi dalam mengelola aliran barang, informasi, dan keuangan yang dimulai dari pemasok hingga konsumen akhir. SCM berperan penting dalam mengoordinasikan aktivitas pengadaan, produksi, penyimpanan, dan distribusi agar tercipta efisiensi dan nilai tambah secara menyeluruh [13].

Tujuan utama SCM adalah memaksimalkan nilai rantai pasok secara keseluruhan dengan meningkatkan koordinasi antar elemen internal dan eksternal perusahaan. Penerapan SCM yang efektif mampu meningkatkan keunggulan kompetitif melalui pengelolaan proses, teknologi, dan strategi yang terintegrasi [14].

SCM terdiri atas tiga aliran utama, yaitu *upstream supply chain* yang berhubungan dengan pemasok bahan baku, *internal supply chain* yang mencakup proses produksi dan pengendalian persediaan, serta *downstream supply chain* yang berfokus pada distribusi produk kepada konsumen akhir [15].

B. Distribusi

Distribusi merupakan aktivitas pemasaran yang berfungsi menyalurkan produk dari produsen kepada konsumen dengan memperhatikan aspek jumlah, lokasi, dan waktu pengiriman. Distribusi menciptakan nilai tambah berupa manfaat waktu dan tempat, serta berperan penting dalam menjaga kepuasan konsumen [16].

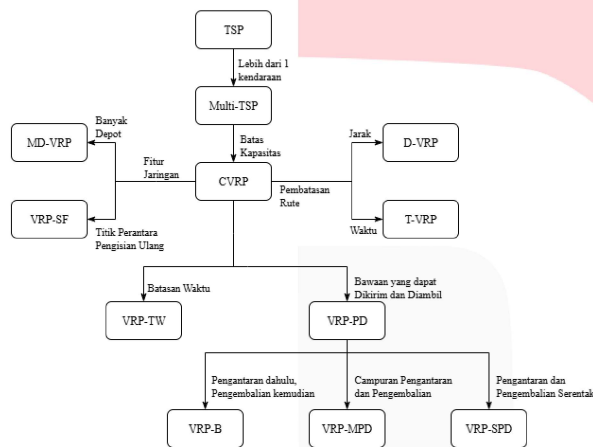
Distribusi bertujuan memastikan produk sampai ke konsumen sesuai dengan kebutuhan jenis, jumlah, harga, lokasi, dan waktu yang diinginkan [17]. Dalam proses bisnis, distribusi menjadi penghubung utama antara produsen dan konsumen serta menjaga kepuasan konsumen melalui ketepatan dan keamanan produk yang diterima [18], [19]. Oleh karena itu, diperlukan perencanaan rute distribusi yang

optimal agar proses pengiriman dapat dilakukan secara efektif dan efisien.

C. Vehicle Routing Problem

Vehicle Routing Problem (VRP) merupakan permasalahan optimasi dalam bidang logistik. Tujuan VRP ialah menentukan rute terbaik bagi sejumlah kendaraan untuk melayani konsumen dari satu depot dengan tujuan meminimalkan jarak tempuh atau biaya distribusi [20]. Setiap konsumen hanya boleh dilayani satu kali oleh satu kendaraan, dengan titik awal dan akhir rute berada di depot [21].

VRP dapat dimodelkan sebagai graf lengkap yang terdiri depot dan konsumen sebagai simpul, serta jarak atau biaya sebagai busur. VRP sering kali melibatkan berbagai kendala, sehingga berkembang menjadi beberapa varian, antara lain *Capacitated VRP*, *VRP with Time Windows*, *VRP with Pick-Up and Delivery*, dan lainnya [22]. Hal ini menunjukkan bahwa VRP dapat di klasifikasikan ke dalam beberapa bagian yang dapat dilihat pada Gambar 3 [23].



GAMBAR 3
(Klasifikasi VRP)

D. Capacitated Vehicle Routing Problem

Capacitated Vehicle Routing Problem (CVRP) merupakan varian VRP yang mempertimbangkan keterbatasan kapasitas kendaraan. Setiap kendaraan memiliki kapasitas maksimum yang tidak boleh dilampaui dalam melayani permintaan konsumen [24].

Tujuan utama CVRP adalah meminimalkan total biaya atau jarak distribusi dengan tetap memenuhi permintaan seluruh konsumen dan batasan kapasitas kendaraan. Dibandingkan dengan *Travelling Salesman Problem*, CVRP memiliki tingkat kompleksitas yang lebih tinggi karena melibatkan banyak kendaraan dan kendala kapasitas [25].

E. Vehicle Routing Problem with Time Windows

Vehicle Routing Problem with Time Windows (VRPTW) merupakan pengembangan dari VRP yang menambahkan batasan waktu pelayanan konsumen. Setiap konsumen hanya dapat dilayani dalam rentang waktu tertentu (*time windows*), sehingga kendaraan harus tiba sesuai jadwal yang telah ditentukan [26].

VRPTW bersifat multi-objektif karena tidak hanya meminimalkan jarak atau biaya distribusi, tetapi juga penalti akibat pelanggaran kapasitas dan waktu pelayanan [27].

Adapun bentuk model matematis VRPTW secara umum yang didefinisikan sebagai berikut [28]:

$$Z_{vrptw} = \text{minimum} \sum_{i,j \in N} c_{ij} + \sum_{i \in N} p_i$$

Keterangan:

C_{ij} : Jarak tempuh.

P_i : Penalti apabila kendaraan melebihi kapasitas dan *time windows*.

N : Kumpulan titik dari konsumen.

F. Ant Colony Optimization

Ant Colony Optimization (ACO) merupakan algoritma metaheuristik yang terinspirasi dari perilaku koloni semut dalam menemukan jalur terpendek menuju sumber makanan. Semut meninggalkan jejak feromon pada jalur yang dilalui, dan jalur dengan konsentrasi feromon tertinggi cenderung dipilih oleh semut lain, sehingga secara bertahap terbentuk rute optimal [29].

Algoritma ini bekerja melalui beberapa tahapan, sebagai berikut:

1. Permodelan permasalahan rute.
2. Inisialisasi parameter.
3. Kontruksi solusi oleh semut.
4. Pembaruan feromon.
5. Kriteria berhenti.

Keunggulan algoritma terletak pada kemampuannya yang dapat mengeksplorasi solusi secara adaptif dan menghasilkan rute yang efisien dalam waktu komputasi secara baik [30].

III. METODE

Penelitian ini bertujuan meminimalkan biaya distribusi paku log kayu pada UD Mandiri Tumbuh Bersama yang berlokasi di Desa Sawangan, Ajibarang. Data primer diperoleh melalui observasi lapangan dan wawancara dengan pemilik serta pegawai guna mengumpulkan informasi mengenai lokasi konsumen, volume permintaan, serta operasional transportasi. Data sekunder didukung oleh studi literatur dari jurnal dan buku terkait metode optimasi distribusi. Pendekatan ini bertujuan agar mendapatkan gambaran menyeluruh terkait sistem distribusi dan biaya distribusi yang saat ini dijalankan oleh perusahaan.

Pengolahan data penelitian menggunakan algoritma ACO melalui MATLAB Online. Tahapan analisis mencakup identifikasi jarak, rute, biaya, serta penentuan konfigurasi parameter algoritma guna menghasilkan rute dengan efisiensi biaya maksimal dibandingkan rute awal. Hasil akhir ACO, akan dibandingkan dengan kondisi awal. Perbandingan ini dilakukan dengan menggunakan Persamaan (1).

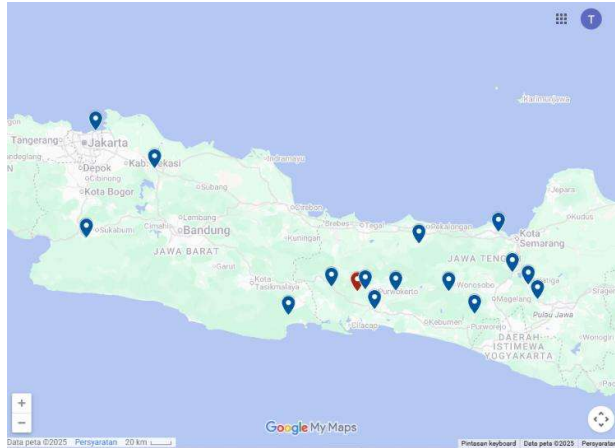
$$\text{Optimasi} = \frac{\text{Biaya Distribusi Awal}}{\text{Biaya Distribusi ACO}} \quad (1)$$

IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Lokasi Depot dan Konsumen

Pengiriman produk dilakukan pada 16 konsumen di wilayah Jawa Tengah, Jawa Barat, dan Jakarta dengan UD Mandiri Tumbuh Bersama sebagai depot titik pusat awal dan

akhir kendaraan. Visualisasi persebaran titik rute tersebut dapat dilihat pada Gambar 4.



GAMBAR 4
(Titik Lokasi Konsumen)

Distribusi paku log kayu dilakukan dari satu titik depot, yaitu UD Mandiri Tumbuh Bersama (simbol merah), menuju ke 16 lokasi konsumen (simbol biru). Konsumen perusahaan ditunjukkan pada Tabel 4, yang memperlihatkan nama-nama dan kode konsumen pada penelitian.

TABEL 4
(Kode Dan Nama Konsumen)

Kode	Konsumen
X1	SPBE PT Capital Realm Indonesia
X2	SPBE PT Ananda Rasya Putra
X3	SPBE PT Kendal Bangun Cipta Sarana
X4	PT Duta Albasy
X5	PT Wana Makmur Sejahtera
X6	CV Tirta Jati Selaras
X7	PK Jaya Guna
X8	PT Daya Mustika Intiprima
X9	PT Bahtera Dingga jaya
X10	PT Abioso Batara Alba
X11	SPBE PT Banyumas Makmur Artikana Gasindo
X12	PT Techno Wood Indonesia
X13	CV Mitra Pesona Flywood
X14	PT Kemilau Anugrah Sejati (KAS)
X15	SPBE PT Aji Gamita
X16	PT Berkah Cahaya Asli

Proses pengiriman dilakukan secara periodik setiap bulan menggunakan satu unit armada, dimana penentuan rute distribusi masih didasarkan pada keputusan pengemudi. Jadwal operasional distribusi berlangsung setiap hari Senin – Minggu mulai pukul 06.30 sampai 17.00 WIB. Produk di kemas dalam satuan karung dengan berat 10 kg per unit, sehingga total kapasitas angkut kendaraan adalah 100 karung

B. Biaya BBM Per Satuan Jarak

Kendaraan operasional menggunakan bahan bakar jenis Pertalite yang memiliki harga pasar sebesar Rp10.000 per liter. Tingkat konsumsi bahan bakar untuk armada dapat menempuh jarak 11 km/liter. Adapun perhitungan rute per satuan jarak pada Tabel 5.

TABEL 5
(Spesifikasi Biaya BBM)

Kapasitas Tangki (L)	Pembakaran Bersih 1 Liter BBM (km)	Harga Pertalite (Rp)		
		1 liter	1 km	1 m
43	11	10.000	909	0,91

C. Interval Waktu

Data menunjukkan batasan periode pengiriman bagi setiap konsumen. Data tersebut mengatur jadwal distribusi yang diperbolehkan untuk setiap kode konsumen. Sebagai contoh, konsumen X1 hingga X4 memiliki jendela waktu pada hari 1-5. Sementara itu, terdapat konsumen dengan dua periode jendela waktu yang berbeda yaitu konsumen X5 pada hari 1-7 dan 17-27.

TABEL 6
(Periode Pengiriman)

Konsumen	Rentang Waktu Periode Pengiriman
X1	1 - 5
X2	1 - 5
X3	1 - 5
X4	1 - 5
X5	1 - 7 & 19 - 27
X6	10 - 14
X7	11 - 15
X8	12 - 16
X9	12 - 16
X10	14 - 18
X11	14 - 18
X12	14 - 18
X13	28 - 2
X14	6 - 10
X15	14 - 18
X16	24 - 28

D. Matriks Jarak Tempuh

Jarak antar titik dihitung dalam satuan kilometer menggunakan bantuan *Google Maps*. Data kemudian dikonversi ke dalam format matriks jarak untuk menghitung jarak antarlokasi secara komprehensif, yang dilihat pada Gambar 5.

	P	X1	X2	X3	X4	X5	X6	X7	X8	X9	X10	X11	X12	X13	X14	X15	X16
P	0	284	274	222	150	43,9	341	109	415	416	300	140	267	33	10,3	101	29
X1	284	0	34,4	75	158	151	486	379	560	560	18,1	72,7	412	308	181	94,7	176
X2	274	34,4	0	65,1	147	135	475	277	549	549	49,7	63,7	400	209	165	78,4	159
X3	222	75	65,1	0	97,6	190	426	315	500	500	91,7	129	352	248	226	116	214
X4	150	158	147	97,6	0	93,1	354	243	427	428	176	214	280	176	130	85,4	118
X5	43,9	151	135	190	93,1	0	376	153	430	431	167	109	302	81,9	33,1	56,3	38,4
X6	341	486	475	426	354	376	0	337	119	120	503	541	81,4	328	344	435	371
X7	109	379	277	315	243	153	337	0	394	303	343	236	239	303,6	101	199	118
X8	415	560	549	500	427	430	119	304	0	1	579	617	157	302	420	510	447
X9	416	560	549	500	428	451	120	303	1	0	580	617	158	301	421	511	448
X10	300	18,1	49,7	91,7	176	167	503	343	579	580	0	79,1	428	240	195	109	190
X11	140	72,7	63,7	129	214	109	541	236	617	617	79,1	0	465	160	124	52,8	108
X12	267	412	400	352	248	302	81,4	259	157	158	428	465	0	255	271	362	298
X13	33	308	209	248	176	81,9	328	303,6	302	301	240	160	255	0	40,5	131	52
X14	10,3	181	165	226	110	33,1	344	107	420	421	195	134	271	40,5	0	92,9	28,4
X15	101	94,7	78,4	116	85,4	56,3	435	199	510	511	109	52,8	362	131	92,9	0	81,1
X16	29	176	159	214	118	38,4	371	118	447	448	190	108	298	52	28,4	81,1	0

GAMBAR 5
(Matriks Jarak Tempuh)

E. Model Matematis

Model matematis yang digunakan akan mengacu pada model yang dibuat oleh [31]. Model penelitian menggunakan permasalahan *Capacitated Vehicle Routing Problem with Time Windows*. Fungsi utama dari model ini adalah untuk

meminimumkan biaya BBM total. Tabel berikut merupakan simbol definisi dari daftar indeks, parameter, dan variabel keputusan yang digunakan dalam penelitian ini.

TABEL 7
(Keterangan Indeks & Himpunan)

Indeks	
Simbol	Keterangan
V	Himpunan simpul; 0 = depot, 1... n = konsumen ($n = 16$)
R	Indeks trip (<i>multi-trip</i>)
$i, j \in V$	Indeks simpul
$r \in R$	Indeks <i>trip</i> ke- r

TABEL 8
(Keterangan Parameter)

Parameter	
Simbol	Keterangan
q	Kapasitas kendaraan
d_i	Permintaan barang di lokasi i
c_{ij}	Jarak dari titik i ke j
γ	Biaya BBM per km
t_{ij}	Waktu tempuh dari i ke j
$[a_i, b_i]$	<i>Time windows</i> simpul i
s_i	Waktu layanan di simpul i
M	Bilangan besar (<i>Big-M</i>)

TABEL 9
(Keterangan Variabel Keputusan)

Variabel Keputusan	
Simbol	Keterangan
x_{ij}^r	1 jika trip r bergerak dari i ke j
y_i^r	1 jika konsumen i dilayani pada trip r
A_i^r	Waktu tiba di simpul i pada trip r

Dengan demikian model matematisnya sebagai berikut:

$$\text{Minimize } Z = \sum_{r \in R} \sum_{i \in V} \sum_{j \in V} (\gamma c_{ij}) x_{ij}^r \quad (2)$$

Batasan model:

1. Kunjungan tiap konsumen tepat sekali.

$$\sum_{r \in R} \sum_{j \in V} x_{ij}^r = 1, \quad \forall i \in V \setminus \{0\} \quad (3)$$

2. Keseimbangan derajat pada tiap trip.

$$\sum_{i \in V} x_{ij}^r = y_i^r, \quad \sum_{j \in V} x_{ji}^r = y_i^r, \quad \forall i, j \in V \quad (4)$$

3. Setiap trip mulai dan berakhir di depot.

$$\sum_{j \in V} x_{0j}^r = \sum_{i \in V} x_{i0}^r \leq 1, \quad \forall r \in R \quad (5)$$

4. Batas kapasitas per trip.

$$\sum_{i \in V \setminus \{0\}} d_i \cdot y_i^r \leq q, \quad \forall r \in R \quad (6)$$

5. Waktu tempuh dan jendela layanan (*time windows*).

$$A_j^r \geq A_i^r + s_i + t_{ij} - M(1 - x_{ij}^r), \quad \forall i \neq j, \forall r \in R \quad (7)$$

$$a_i y_i^r \leq A_i^r \leq b_i y_i^r, \quad \forall i \in V, \forall r \in R$$

F. Parameter Masalah

Pemodelan parameter masalah dilakukan untuk mensimulasikan variabel distribusi secara aktual, seperti kapasitas kendaraan, kecepatan laju, dan biaya operasional yang berguna mendukung optimasi rute melalui algoritma ACO. Implementasi menggunakan MATLAB memungkinkan integrasi komputasi dan visualisasi data yang efektif dalam menangani permasalahan kompleks seperti VRP.

1. Jumlah Konsumen

Total titik konsumen yang harus dikunjungi dalam proses distribusi yaitu 16.

$$nCust = 16 \quad (8)$$

2. Jumlah Node Total

Jumlah node total hanya terdapat satu depot sebagai titik awal dan akhir, maka jumlah node keseluruhan menjadi 17 (16 konsumen + 1 depot).

$$nFull = nCust + 1 \quad (9)$$

3. Jumlah Hari Simulasi

Penelitian menggunakan selama 30 hari atau satu bulan.

$$days = 30 \quad (10)$$

4. Jumlah Kendaraan

Kendaraan yang digunakan untuk proses pengiriman hanya satu yaitu Suzuki Carry Pick Up.

$$K = 1 \quad (11)$$

5. Kapasitas Kendaraan

Kapasitas maksimum kendaraan yang harus dipenuhi agar tidak melebihi beban selama proses distribusi.

$$Q = 1000 \text{ kg} \quad (12)$$

6. Kecepatan Kendaraan

$$v = 37 \text{ km/jam} \quad (13)$$

Langkah pertama melakukan perhitungan kecepatan semua konsumen dengan rumus:

$$v = \text{Jarak} / \text{Waktu} \quad (14)$$

Kemudian, dilakukan perhitungan rata-rata kecepatan dengan rumus:

$$\bar{v} = \frac{\sum_{i=1}^{16} v_i}{16} \quad (15)$$

7. Waktu Kerja

Total waktu kerja pengemudi dalam satu hari, yaitu dari pukul 06.30 hingga 17.00 WIB.

$$H_{work} = 10.5 \text{ jam} \quad (16)$$

8. Biaya Bahan Bakar

Biaya ini menggunakan rata-rata yang dikeluarkan kendaraan setiap menempuh jarak satu kilometer.

$$C_{fuel} = Rp909/km \quad (17)$$

9. Waktu Pelayanan

Waktu untuk proses bongkar muat barang di tiap titik yaitu 15 menit.

$$t_{service} = \frac{15}{60} = 0.25 \text{ jam} \quad (18)$$

10. Biaya Akomodasi

Biaya ini merupakan biaya tambahan bagi pengemudi apabila waktu pengiriman lebih dari satu hari, atau sebagai biaya darurat.

$$Clodge = Rp300.000 / kendaraan / malam \quad (19)$$

G. Parameter Ant Colony Optimization

Kemudian dilakukan tahap simulasi pengerjaan algoritma ACO. Efektivitas algoritma ACO sangat bergantung pada penentuan nilai parameter yang digunakan. Karena belum adanya standar nilai tertentu dalam yang menjamin hasil optimal tiap kasus, performansi algoritma biayanya diukur berdasarkan kualitas solusi dan efisiensi waktu komputasi yang dihasilkan. Maka, penentuan parameter dilakukan melalui pengujian beberapa kombinasi nilai yang berbeda untuk kemudian dibandingkan performasinya guna memperoleh hasil yang paling optimal [32].

Pada tahap ini, dilakukan penyesuaian nilai parameter ACO yang telah ditetapkan sebelumnya. Nilai yang digunakan penelitian adalah nilai optimal, guna menjalankan simulasi algoritma ini pada Tabel 10.

TABEL 10
(Nilai Parameter ACO)

α	β	ρ	m	t_{max}	T_0
1	4	0.5	30	150	0.001

Keterangan:

- α : Bobot feromon
- β : Bobot visibilitas
- ρ : Penguapan feromon
- m : Jumlah semut
- T_0 : Nilai awal jejak feromon
- t_{max} : Iterasi maksimal

H. Hasil Perancangan Rute Pengiriman

Setelah data pengiriman perusahaan dikumpulkan, perancangan rute dilakukan menggunakan metode ACO. Pada proses optimasi, ACO mengandalkan simulasi dengan

parameter yang telah diatur, seperti jumlah semut, tingkat penguapan feromon, dan iterasi maksimal. Dari hasil simulasi, diperoleh rute pengiriman baru yang menghasilkan pengurangan biaya distribusi secara signifikan dibandingkan kondisi awal. Perbandingan dilakukan dengan menyediakan data awal dan hasil ACO terkait jarak serta biaya. Variabel $S(x)$ merupakan total jarak tempuh untuk setiap pengiriman, sedangkan variabel $C(x)$ merupakan biaya distribusi.

TABEL 11
(Perbandingan Bulan Mei)

Hari	S(x)		C(x)	
	S(x) Awal	S(x) ACO	C(x) Awak	C(x) ACO
1		358	Rp1.073.727	Rp525.422
2	631,1	548		Rp698.132
4	87,8	581	Rp379.818	Rp728.129
10	682	682	Rp1.120.000	Rp819.938
11	218	218	Rp698.182	Rp398.162
12	832	832	Rp1.256.364	Rp956.288
14	1.111,1	600	Rp1.510.091	Rp745.400
16	87,8	280	Rp379.818	Rp454.520
18	66	534	Rp360.000	Rp685.406
Total	3.715,8	4.633	Rp6.778.000	Rp6.011.397

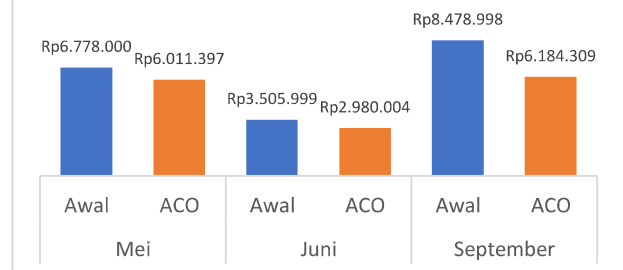
TABEL 12
(Perbandingan Bulan Juni)

Hari	S(x)		C(x)	
	S(x) Awal	S(x) ACO	C(x) Awak	C(x) ACO
1	888,6	287	Rp1.307.818	Rp460.883
2	87,8	548	Rp379.818	Rp698.132
4	20,6	581	Rp318.727	Rp728.129
14	293,8	204,2	Rp767.091	Rp358.618
16	87,8	280	Rp379.818	Rp454.520
24	58	58	Rp352.727	Rp252.722
Total	1.436,6	1.958,2	Rp3.505.999	Rp2.980.004

TABEL 13
(Perbandingan Bulan September)

Hari	S(x)		C(x)	
	S(x) Awal	S(x) ACO	C(x) Awak	C(x) ACO
1	592,4	358	Rp1.038.545	Rp525.422
2	469,6	548	Rp926.909	Rp698.132
4	87,8	581	Rp379.818	Rp728.129
10	695,3	682	Rp1.132.091	Rp819.938
11	830	218	Rp1.254.545	Rp398.162
12	600	832	Rp1.045.455	Rp956.288
14	280	512,2	Rp754.545	Rp665.590
16	730	280	Rp1.163.636	Rp454.520
18	87,8	534	Rp379.818	Rp685.406
24	114	58	Rp403.636	Rp252.722
Total	4.486,9	4.603,2	Rp8.478.998	Rp6.184.309

Perbandingan Biaya Distribusi



GAMBAR 6
(Grafik Perbandingan Total Biaya Distribusi)

Berdasarkan grafik perbandingan biaya distribusi sebelum dan sesudah penerapan metode ACO, terlihat adanya penurunan biaya yang cukup signifikan di setiap bulannya. Pengiriman bulan Mei 2025 mengalami penurunan biaya distribusi dari Rp6.778.000 menjadi Rp6.011.397, sedangkan pada bulan Juni turun dari Rp3.505.999 menjadi Rp2.980.004, dan pada bulan September mengalami penurunan signifikan dari Rp8.478.998 menjadi Rp6.184.309. Penurunan biaya tersebut menunjukkan bahwa penerapan metode ACO mampu meningkatkan efisiensi proses distribusi melalui pengoptimalan rute dan alokasi sumber daya. Persentase penghematan tertinggi terjadi pada bulan September, yaitu sekitar 27,6%, yang menandakan semakin efektifnya penerapan sistem seiring waktu.

V. KESIMPULAN

Implementasi algoritma Ant Colony Optimization (ACO) pada model CVRPTW di UD Mandiri Tumbuh Bersama berhasil meningkatkan efisiensi biaya distribusi secara signifikan. Hasil pengujian menunjukkan penghematan biaya pada bulan Mei sebesar 11,31% dari biaya Rp6.778.000 menjadi Rp6.011.397 dan Juni sebesar 15% dari Rp3.505.999 menjadi Rp2.980.004, efisiensi tertinggi dicapai pada September sebesar 27,06% dengan reduksi biaya dari Rp8.478.999 menjadi Rp6.184.309. Optimalisasi ini tercapai karena kemampuan algoritma ACO dapat menyeimbangkan jarak tempuh sehingga perjalanan lebih teratur dan terstruktur. Perusahaan juga disarankan untuk mengadopsi pola rute hasil optimasi ini serta melakukan evaluasi manajemen distribusi secara berkala guna mempertahankan efisiensi biaya jangka panjang.

REFERENSI

- [1] I. Arofah dan N. N. Gesthantiara, "Optimasi Biaya Distribusi Barang dengan Menggunakan Model Transportasi," *Jurnal Matematika dan Terapan*, vol. 3, no. 1, hlm. 1–9, Jan 2021.
- [2] B. D. Prasetyo dan R. Takaya, "Strategi Pengelolaan Rantai Pasok dalam Industri Manufaktur Untuk Meningkatkan Efisiensi," *Jurnal Kajian Ilmiah Interdisipliner*, vol. 8, no. 7, hlm. 2118–7303, Jul 2024.
- [3] Haryandi, L. P. Mayasari, dan M. A. Dzulfikri, "Analisis Manajemen Rantai Pasok Pemasok Lokal di PT Prasmanindo Boga Utama Site Batu Hijau, PT Amman Mineral Nusa Tenggara, Sumbawa Barat, Nusa Tenggara Barat," *Jurnal Industri dan Teknologi Samawa*, vol. 1, no. 1, hlm. 1–8, Agu 2020.
- [4] N. K. Ningrat dan E. Aristriyana, "Penerapan Metode *Distribution Requirement Planning* (DRP) dalam Penjadwalan Distribusi Produk di UKM SB Jaya Ciamis," *Jurnal Industrial Galuh*, vol. 5, no. 2, hlm. 91–105, Agu 2023.
- [5] N. Hulu, L. M. Harahap, S. Marbun, dan D. A. Putri, "Efisiensi Distribusi melalui Optimasi Biaya dan Jarak dengan Pendekatan Metode Transportasi," *Journal of Economics, Business and Management*, vol. 1, no. 1, hlm. 1, Apr 2025.
- [6] S. N. Haryanto, R. P. Mariyandani, B. Aliturahman, dan A. Mardhiyah, "Tantangan Pemasaran dan Distribusi Pada UKM: Analisis Usaha Kecil dan Menengah Studi Kasus Pada Toko Mulia Logam," *Jurnal Ekonomi Dan Bisnis Digital*, vol. 02, no. 02, hlm. 1266–1275, 2024.
- [7] S. Tjhin, T. Matahari, R. Arsyadi, M. J. R. B. Wahyuni, dan A. Harditya, "Strategi Branding: Peran Media Sosial dalam Memajukan Perekonomian Masyarakat Melalui UKM," *Journal of Community Services: Sustainability and Empowerment*, vol. 1, no. 01, hlm. 21–33, Mar 2021.
- [8] E. Sudirman, "Strategi Usaha Kecil Menengah Menghadapi Digitalisasi Pemasaran," *Jurnal Ilmu Manajemen*, vol. 9, no. 2, hlm. 142–151, Jun 2020.
- [9] D. Aulia dan R. Hidayat, "Upaya Peningkatan Volume Penjualan melalui Optimalisasi Kualitas Produk dan Saluran Distribusi," *Ekonomi, Keuangan, Investasi dan Syariah (EKUITAS)*, vol. 4, no. 2, hlm. 665–671, Nov 2022.
- [10] M. Arif dan A. Sismar, "Peran Saluran Distribusi Dalam Meningkatkan Volume Penjualan Pada Toko Sinar Aneka Sorong Papua Barat Daya," *Jurnal Ilmiah Bisnis & Kewirausahaan*, vol. 13, no. 1, hlm. 47–55, 2024.
- [11] N. Muhayyaro, B. N. Siswanto, dan N. K. Dewi, "Perancangan Sistem Penentuan Rute dan Optimasi Biaya Pendistribusian Barang Dengan Metode *Saving Matrix* dan *Nearest Insertion* Berbasis VBA *Excel*," *Jurnal Pabean*, vol. 5, no. 2, hlm. 146, Jul 2023.
- [12] L. E. Marpaung, J. Arifin, dan W. Winarno, "Optimalisasi Rute Distribusi Menggunakan Algoritma *Clarke and Wright Savings*," *Jurnal Media Teknik dan Sistem Industri*, vol. 6, no. 2, hlm. 76–83, 2022.
- [13] M. Ridwan dan M. R. Gaffar, "Efisiensi Persediaan dan Distribusi Melalui Integrasi *Supply Chain Management*," *Applied Business and Administration Journal*, vol. 1, no. 2, hlm. 36–44, 2022.
- [14] W. Zulkarnaen, I. Dewi Fitriani, dan N. Yuningsih, "Pengembangan *Supply Chain Management* dalam Pengelolaan Distribusi Logistik Pemilu yang Lebih Tepat Jenis, Tepat Jumlah dan Tepat Waktu Berbasis *Human Resources Competency Development* di KPU Jawa Barat," *Jurnal Ilmiah Manajemen, Ekonomi, dan Akuntansi (MEA)*, vol. 4, no. 2, hlm. 222–243, 2020.
- [15] N. Azizah dan V. D. Pramandari, "Implementasi *Supply Chain Management* Pada UMKM Tenun Troso Jepara," *Nusantara Journal of Computers and Its Applications*, vol. 3, no. 1, hlm. 11–6, Jun 2021.
- [16] W. Zulkarnaen, I. Dewi Fitriani, B. Sadarman, dan N. Yuningsih, "Evaluasi Kinerja Distribusi Logistik KPU Jawa Barat Sebagai Parameter Sukses Pilkada Serentak 2018," *Jurnal Manajemen, Ekonomi, & Akuntansi*, vol. 4, no. 2, hlm. 244–264, 2020.
- [17] G. N. Muhamad, R. Fadilah, dan M. Fauzi, "Optimalisasi Biaya Distribusi Beras Subsidi dengan *Model Transshipment*," *Jurnal Teknik Industri*, vol. 6, no. 1, hlm. 40–43, 2020.
- [18] T. W. Sari, T. M. Aditya, dan M. Fauzi, "Penentuan Rute Optimal Distribusi Paving Block dengan Metode *Branch and Bound*," *Jurnal Teknik Industri*, vol. 6, no. 2, hlm. 66–71, 2020.