

Ant Colony Optimization untuk Menyelesaikan Perutean Distribusi Snack dengan Vehicle Routing Problem

Endang Setyati

Departemen Teknologi Informasi
Institut Sains dan Teknologi Terpadu Surabaya
Surabaya, Indonesia
endang@stts.edu

Ine Juniwati

Departemen Teknologi Informasi
Institut Sains dan Teknologi Terpadu Surabaya
Surabaya, Indonesia
inejuniwati2019@gmail.com

Abstrak— One of the challenges faced by Small and Medium Industries (IKM) in their production marketing support activities is the problem of transportation. Transportation of goods and services is an important topic that attracts the attention of the business world today. And things that are closely related to the transportation sector, namely the Vehicle Routing Problem (VRP) or routing problems. The VRP variant used in this study is the Capacity Vehicle Routing Problem (CVRP) which uses the capacity limit of the vehicles used. CVRP is used to minimize goods distribution channels at IKM Jajan FITRIA located in Sidoarjo. The distribution problem at IKM Snack FITRIA is how to effectively manage the route of delivery of goods from the warehouse to several stores/customers spread across various locations in Surabaya, Sidoarjo and Gresik. This study includes route planning for each vehicle when delivering products to consumers who are scattered at several points originating from the same warehouse. Vehicles deliver goods from warehouse to customer in one day in one shipment. So far, the Ant Colony Optimization (ACO) algorithm is being used. ACO is used because it can show the best route for the 95% optimal solution.

Keywords—VRP; CVRP; ACO; Optimization; Ant Colony

Abstrak- Salah satu tantangan yang dihadapi Industri Kecil Menengah (IKM) pada aktivitas penunjang pemasaran produksinya adalah masalah transportasi. Transportasi barang dan jasa merupakan topik penting yang menarik perhatian dunia usaha saat ini. Dan hal yang berkaitan erat dengan bidang transportasi yaitu Vehicle Routing Problem (VRP) atau permasalahan perutean. Varian VRP yang digunakan dalam penelitian ini adalah Capacity Vehicle Routing Problem (CVRP) yang memanfaatkan kendala kapasitas kendaraan yang digunakan. CVRP digunakan untuk meminimalkan rute distribusi produk di IKM Snack FITRIA yang berlokasi di Sidoarjo. Masalah pendistribusian di IKM Snack FITRIA adalah bagaimana mengatur secara efektif rute pengiriman barang dari gudang ke beberapa toko/pelanggan yang tersebar di berbagai lokasi di Surabaya, Sidoarjo dan Gresik. Dalam penelitian ini meliputi perencanaan rute setiap kendaraan pada saat pengiriman produk ke konsumen yang tersebar di beberapa titik yang berasal dari gudang yang sama. Transportasi dalam satu hari mengirimkan barang dari gudang ke pelanggan dengan satu pengiriman. Sejauh

ini, algoritma Ant Colony Optimization (ACO) yang digunakan. ACO digunakan karena dapat menunjukkan 90% jalur solusi optimal terbaik. Dan dapatkan total jarak tempuh minimum dengan varian rendah.

Kata kunci— VRP; CVRP; ACO; Optimasi; Ant Colony.

PENDAHULUAN

Dilihat dari perkembangan saat ini, IKM sudah memiliki data yang tersimpan secara sederhana dalam pengelolaan usahanya, salah satunya adalah data distribusi barang. Dan permasalahan yang dihadapi adalah distribusi dengan kapasitas kendaraan yang terbatas. Oleh karena itu, diperlukan sistem routing (perutean) yang optimal yang membuat distribusi menjadi sangat efisien. Saat menentukan rute distribusi, dikenal dengan Vehicle Routing Problem (VRP).

VRP merupakan masalah optimasi kombinatorial untuk menentukan rute yang dapat diterapkan pada mekanisme distribusi komoditas. Varian VRP yang digunakan dalam penelitian ini adalah Capacity Vehicle Routing Problem (CVRP) yang menggunakan batasan kapasitas kendaraan yang digunakan. Menggunakan algoritma Ant Colony Optimization (ACO) untuk menentukan jarak terdekat. Namun jarak bukanlah satu-satunya faktor yang berpengaruh untuk menentukan rute perjalanan. Oleh karena itu, penelitian ini bertujuan untuk melengkapi kekurangan pada penelitian sebelumnya dengan menambahkan variabel lain dalam lingkup CVRP. Dan untuk lebih memahami istilah-istilah dalam penelitian ini, kami berikan beberapa penjelasan.

IKM merupakan sektor mayoritas atau yang mendominasi dari jumlah populasi industri di Indonesia. Pemerintah berperan aktif mendorong pelaku IKM untuk mampu meningkatkan produksinya lebih optimal khususnya di tengah era digital dan pandemi ini. IKM Snack FITRIA yang berlokasi di Sidoarjo dan memproduksi jajanan “Snack Almond Crispy” yang memiliki 4 varian rasa dengan kemasan yang sama. Memiliki beberapa kendaraan pengangkut dengan kapasitas tertentu. Mengalami kesulitan pada pengaturan rute untuk setiap kendaraan. Karena kurangnya penjadwalan rute yang optimal pada setiap

kendaraan pengangkut menyebabkan kurangnya efisiensi jarak tempuh dan waktu.

Pada penelitian Wan Amir Fuad Wajdi Othman, Aezaal Azman Abd Wahab, Syed Sahal Nazli Alhady, Haw Ngie wong (2018) tentang penerapan algoritma ACO guna memecahkan VRP. Bahwa parameter yang berpengaruh yaitu jumlah semut (n_{Ant}), α (α), β (β) dan ρ (ρ). Dengan parameter semut = 20, $\alpha=1$, $\beta=1$ dan $\rho=0,05$ didapat rute optimal [2]. Tetapi pada penelitian ini tidak diterangkan lebih detail varian VRP yang digunakan.

Penelitian Ibrahim A.A, Lo N., Abdulaziz R.O, Ishaya J.A (2019) tentang pengembangan teknik dalam penentuan jalur optimal dari depot ke pelanggan dengan mempertimbangkan kapasitas kendaraan. Dengan asumsi dasar bahwa setiap kendaraan mengawali perjalanan dari depot kemudian ke pelanggan dengan kendaraan yang homogen. Dalam penelitian ini CVRP diselesaikan dengan beberapa metode yaitu: Column Generation (CG), Google Operation Research Tool (Google OR-Tool), dan Reinforcement Learning (RL) dengan membandingkan masing-masing hasil. Dan hasilnya dari penelitian secara komputasi RL lebih unggul dari Google OR-Tools [8]. Penelitian Modhi Lafta Mutara, M.A. Burhanuddin, Asaad Shakir Hameed, Norzihani Yusof and Hussein Jameel Mutashar (2020) tentang penggunaan Sistem Ant Colony (ACS) untuk mengatasi permasalahan distribusi dengan target untuk mengurangi jarak dan sebagai referensi baru untuk algoritma ACS [7].

Maka pada penelitian ini akan menerapkan ACO pada CVRP untuk menghasilkan rute optimal pada distribusi jajanan "Snack Almond Crispy". Tujuan perutean optimal tersebut adalah agar distribusi yang dilakukan dapat menjadi efisien baik dari segi jarak maupun waktu. Sehingga semua pelanggan dapat terlayani secara maksimal. Pada penelitian ini ada beberapa hal yang menjadi batasan, antara lain : kendaraan box yang digunakan sebagai pengangkut dengan dimensi : dalam= 2.510mm, lebar=1.680mm, dan tinggi=1.680mm. Jajanan tersebut dikemas dalam tabung berukuran : tinggi =15 cm dan diameter = 8 cm. Permintaan konsumen yang bervariasi telah tercatat dan setiap pelanggan hanya dikunjungi dengan satu kali.

Optimasi

Menurut Brogran (1991), optimasi adalah suatu proses yang ditujukan untuk mencapai hasil yang optimal atau ideal (nilai efektif tercapai). Optimalisasi intuitif melakukan pekerjaan dengan cara terbaik. Sedangkan menurut Licker (2003), optimasi berasal dari kata bahasa Inggris "optimization", yang berarti meminimalkan atau memaksimalkan suatu fungsi dengan beberapa macam kendala. Masalah optimasi mengacu pada studi masalah yang mencoba mencari nilai maksimum atau minimum dari suatu fungsi real. Berdasarkan beberapa nilai yang telah dijelaskan, dapat diartikan bahwa optimasi adalah proses

pencapaian nilai minimum atau maksimum dari beberapa fungsi tujuan dengan mempertimbangkan beberapa kendala yang diberikan.

Vehicle Routing Problem (VRP)

VRP pertama kali diperkenalkan oleh George Dantzig dan John Ramser pada tahun 1959 [13]. VRP merupakan simulasi permasalahan transportasi dalam menentukan sistem distribusi yang digambarkan sebagai model graf dengan banyak pilihan untuk menemukan rute terbaik. Untuk mengirimkan produk ke sejumlah pelanggan sesuai permintaan di beberapa lokasi berbeda dengan menggunakan beberapa kendaraan.

VRP merupakan evolusi dari Travelling Salesman Problem (TSP) yang merupakan permasalahan optimasi rute yang klasik. Dalam masalah ini, satu atau lebih kendaraan berjalan melalui jaringan, meninggalkan dan kembali ke simpul depot. Setiap pelanggan harus dikunjungi oleh satu mobil dalam satu kali. Pelanggan biasanya terletak di simpul jaringan.

Capacitated Vehicle Routing Problem (CVRP)

CVRP merupakan salah satu bentuk VRP yang memiliki kendala pada daya dukung suatu kendaraan. Masalah ini termasuk dalam masalah optimisasi kombinatorial kompleks yang termasuk dalam kategori NP-Hard. Ini adalah permasalahan yang membutuhkan perhitungan yang rumit. Juga merupakan optimasi kombinatorial pada pendistribusian barang antara gudang dan pelanggan. Ini penting secara ekonomi dalam bisnis karena sekitar 10-20% dari harga. Barang dipengaruhi oleh proses pengangkutan, terutama dalam biaya penanganan.

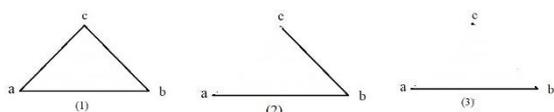
CVRP dirancang untuk mendistribusikan barang ke sekelompok pelanggan dengan pengiriman sesuai dengan permintaan yang diketahui. Tujuan dari CVRP adalah untuk mengurangi total biaya perjalanan dengan menggunakan fungsi pembobotan dari jumlah kendaraan dan jarak yang ditempuh oleh kendaraan dalam melayani sekumpulan pelanggan dengan permintaan yang telah diketahui. Rute harus dibangun sedemikian rupa sehingga semua pelanggan pada simpul dikunjungi satu kali dan hanya oleh satu kendaraan. Ada beberapa persyaratan dalam CVRP, yaitu:

- Semua informasi permintaan pelanggan diidentifikasi sebelumnya,
- Armada homogen yang berasal dari satu depo,
- Setiap pesanan tidak dapat dibagi atau dilayani oleh lebih dari satu kendaraan.

Graf (Peta) Hamilton

Lintasan Hamilton adalah lintasan yang melalui setiap titik pada graf tepat satu kali. Rantai Hamilton adalah rantai yang melalui setiap titik dalam graf tepat satu kali, kecuali titik asal (serta titik akhir) yang melalui dua kali. Graf yang memiliki lintasan Hamiltonian disebut graf Hamiltonian, sedangkan graf yang hanya memiliki lintasan Hamiltonian disebut

graf semi-Hamiltonian.



Gambar. 1. Menggambar grafik berdasarkan jalur: (1) graf Hamilton, (2) graf semi-Hamilton, (3) graf non-Hamilton

Ant Colony Optimization (ACO)

ACO adalah teknik metaheuristik dengan pendekatan populasi yang terinspirasi oleh koloni semut. Pertama kali diusulkan oleh Dorigo dkk untuk memecahkan beberapa masalah optimisasi diskrit [4]. ACO adalah salah satu teknik pengoptimalan ramalan yang meniru sistem komunikasi koloni semut, yang meninggalkan bahan kimia yang disebut feromon pada rute perjalanannya sebagai jejak. Feromon adalah senyawa kimia hidrokarbon yang berguna untuk interaksi dalam ekosistem dan berperan penting dalam sistem komunikasi semut.

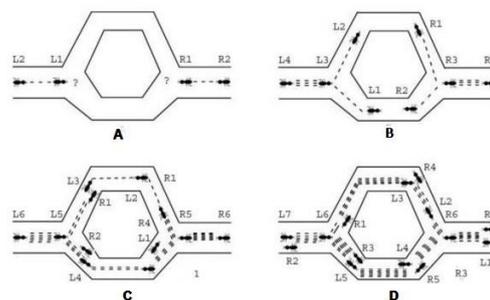
Setiap semut memulai perjalanannya melalui titik yang dipilih secara acak. Perjalanan dilakukan berulang kali, semut mengunjungi satu per satu titik yang ada guna menyusun rute perjalanan. Pilihan titik yang akan dilewati didasarkan pada fungsi probabilitas yang disebut aturan transisi keadaan, dengan mempertimbangkan visibilitas atau jarak timbal balik dari titik dan jumlah feromon yang ada pada segmen yang menghubungkan titik. Semut yang menemukan sumber makanan meninggalkan feromon dalam perjalanan kembali ke koloninya.

Semut lain yang mencium feromon di sepanjang rute akan cenderung mengikuti rute tersebut jika kandungan feromon cukup padat. Semakin padat kandungan feromon pada rute tersebut. Semakin besar kemungkinan semut lain akan mengikuti rute ini. Feromon menguap dari waktu ke waktu. Rute pendek akan mengandung feromon yang cukup padat, karena waktu yang dihabiskan untuk pergi atau setiap kali mereka kembali ke koloninya, semut selalu meninggalkan feromon. Jika dari koloni ke sumber makanan berkurang, penguapan feromon akan minimal.

Jejak feromon akan hilang seiring waktu. Untuk antrean panjang. Jejaknya akan mulai hilang karena jarang dilalui. Sedangkan untuk jalur pendek jalurnya akan memiliki kepadatan feromon yang tinggi dan akan membuat jalur tersebut dapat dipilih. Dan jauh akan ditinggalkan.

Dengan demikian, dapat dikatakan bahwa semut menggunakan lingkungan sebagai sarana komunikasi. Mereka bertukar informasi secara tidak langsung melalui feromon mereka. Sistem ini disebut "stigmergy". Sistem ini didasarkan pada 2 (dua) input, yang terdiri dari input positif dan input negatif. Kontribusi positif : menarik feromon semut lain yang

akan memperkuat diri. Sedangkan input negatif : hamburan sepanjang jalur sistem, yang mencegah penguapan. Sistem stigma dapat digambarkan sebagai berikut:



Gambar 2. Bentuk komunikasi stigmergy pada Ant Colony Optimization [1]

Gambar 2A di atas menunjukkan bahwa ada dua kelompok semut yang akan melakukan perjalanan. Kelompok "L" adalah yang berangkat dari kiri sarang semut. Dan "R", yang berangkat dari kanan sumber makanan. Keduanya berangkat dari titik awal dalam kondisi pemilihan jalur. Kemudian kelompok "L" dibagi menjadi dua kelompok. Kelompok melalui garis atas, dan yang melalui garis bawah, yang juga berlaku untuk kelompok "R".

Gambar 2B dan 2C menunjukkan bahwa sekelompok semut berjalan dengan kecepatan yang sama, meninggalkan feromon di rute yang dilaluinya. Feromon yang ditinggalkan semut yang melewati rute atas menguap dengan cepat. Karena lebih sedikit semut yang melewati rute atas daripada rute bawah. Ini dipengaruhi oleh jarak yang ditempuh. Jarak dari rute atas lebih besar daripada rute bawah. Sedangkan feromon yang berada pada rute bawah penguapan lebih rendah. Karena lebih banyak semut yang melewati rute bawah daripada garis atas.

Gambar 2D menunjukkan bahwa semut lainnya akhirnya memutuskan untuk mengikuti jejak tersebut. Karena masih banyak feromon yang tersisa. Sedangkan feromon di rute atas sudah banyak menguap, sehingga semut tidak memilih rute atas. Semakin banyak semut yang berjalan di rute tersebut, semakin banyak pula semut yang mengikutinya. Begitu pula dengan rute atas: semakin sedikit semut yang melewati rute atas, semakin sedikit feromon yang tersisa dan bahkan menghilang. Dari sini, rute terpendek antara sarang dan sumber makanan dipilih.

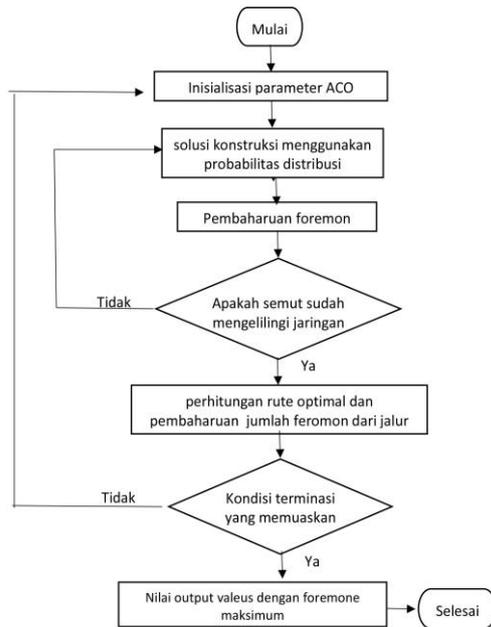
Artinya semakin banyak semut yang mengikuti rute tersebut maka akan semakin menarik untuk dilewati. Probabilitas seekor semut memutuskan untuk mengikuti suatu rute meningkat dengan jumlah semut yang menggunakan jalur tersebut terlebih dahulu. Jadi, algoritma koloni semut adalah sebagai berikut:

1. Awalnya, semut berjalan secara acak.
2. Saat semut menemukan rute yang berbeda, seperti tiba di persimpangan jalan, mereka mulai memilih arah secara acak.
3. Beberapa semut lebih suka naik dan beberapa lebih

- suka turun.
4. Ketika mereka menemukan makanan, mereka kembali ke koloni mereka, memberi isyarat dengan jejak feromon.
 5. Karena rute yang dilalui adalah rute bawah yang lebih pendek, semut bawah akan tiba lebih dulu, dengan asumsi kecepatan semua semut sama.
 6. Feromon yang ditinggalkan semut pada rute yang lebih pendek akan memiliki aroma yang lebih kuat daripada feromon pada rute yang lebih panjang.
 7. Semut lain akan lebih tertarik mengikuti jejak di bawahnya karena aroma feromonnya lebih kuat.

METODE PENELITIAN

Bagian ini membahas tentang penerapan algoritma ACO untuk menyelesaikan permasalahan perutean kendaraan pada pendistribusian jajanan “Snack Almond Crispy”. Pada Gambar 3 menunjukkan bagan alur umum dari metodologi penelitian ini.:



Gambar 3. Blok diagram sistem metodologi

Data yang diberikan IKM dari data sebaran yang diperoleh IKM selama ini. Data tersebut meliputi: jenis pesanan (tipe rasa snack), jumlah pesanan snack, alamat pelanggan/pelanggan, dan moda transportasi yang digunakan. Untuk menyelesaikan masalah routing pada penelitian ini dilakukan dalam beberapa tahapan, tahapan tersebut adalah :

1. Algoritma ACO.

Dalam ACO dibagi menjadi dua tahap utama yaitu tahap semut yang Membangun rute, dan tahap memperbarui feromon [3]. Pada tahap pertama yaitu tahap membangun rute. Dalam hal ini, semut dipilih secara bersamaan dalam n jaringan pada simpul pelanggan (termasuk depot/gudang utama). Pada

setiap langkah membangun semut k yang saat ini berada di simpul i, aturan probabilitas proporsional acak diterapkan untuk memutuskan simpul mana yang akan dipindahkan berikutnya. Hal ini merupakan langkah dalam memilih rute dengan dua nilai. Yakni, fungsi heuristic η_{ij} dan level feromon pada titik (i,j), dilambangkan dengan τ_{ij} . η_{ij} adalah panjang sisi dari simpul i ke simpul j. Dan τ_{ij} menunjukkan jumlah feromon pada sisi dari simpul i ke simpul j. Dan untuk mendapatkan lintasan rute digunakan beberapa persamaan yaitu :

• Pembangunan Rute:

Semut akan bergerak dari simpul i ke simpul j dengan persamaan probabilitas:

$$p_{i,j} = \frac{(\tau_{i,j}^\alpha)(\eta_{i,j}^\beta)}{\sum (\tau_{i,j}^\alpha)(\eta_{i,j}^\beta)} \tag{1}$$

dimana

- α = parameter yang mempengaruhi kontrol terhadap τ_{ij}
- τ_{ij} = jumlah feromon di sisi I dan j
- i = 1,2,3,...,n
- j = 1,2,3,...,k
- η_{ij} = nilai keselarasan sisi i,j, dengan perhitungan : $1/d_{i,j}$, di mana d adalah jarak.
- β = parameter yang mempengaruhi kontrol terhadap $\eta_{i,j}$

Pada tahap ini yaitu pembangunan rute, k semut yang berada di simpul i berpindah ke simpul n, dipilih sesuai dengan persamaan di atas. Kemudian, setelah k semut pindah ke simpul berikutnya, simpul baru beralih ke simpul i, dan simpul baru menjadi n, yang dipilih kembali sesuai dengan aturan probabilitas proporsional acak, simpul hanya akan melewati tahap ini satu kali.

Pada tahap kedua, pembaruan feromon ACO yang sangat berperan untuk mencapai solusi optimal. Persamaan pemulihan feromon dirancang untuk merangsang perubahan jumlah feromon baik karena akumulasi feromon baru yang disimpan oleh semut di tepi yang dikunjungi, dan karena penguapan feromone [4]. Algoritma ACO menggunakan dua jenis pembaruan feromon, yaitu pembaruan feromon global dan pembaruan feromon loka, yang menggunakan 2 persamaan berikut:

• Pembaruan Feromon Lokal:

$$\tau_{(i,j)}\text{baru} \leftarrow (1 - \rho) \cdot \tau_{(i,j)}\text{tua} + \rho \cdot t \tag{2}$$

di mana :

$\tau_{i,j}$ = jumlah feromon pada sisi i,j
 ρ = parameter yang mewakili feromon dengan penguapan lokal yang bernilai dari 0 sampai 1 ($0 < \rho < 1$)
 τ_0 = (jumlah awal feromon) = $1 / (\text{jarak awal} * \text{jumlah kotak})$

Parameter ρ akan menentukan jumlah penguapan feromon pada sisi yang baru saja dikunjungi semut. Semakin besar nilai ρ -nya, maka semakin besar pengurangan jumlah feromon. Jadi rute semut akan cepat konvergen pada rute tertentu.

Dengan pembaruan lokal, jumlah feromon di sisi yang baru dikunjungi berkurang. Sehingga kemungkinan dipilihnya sisi ini oleh semut lain pada langkah iterasi yang sama berkurang. Akibatnya, semut tidak pernah konvergen pada sisi tertentu saja, dan semut lebih memilih sisi yang belum pernah dikunjungi. Pada saat semut telah menyelesaikan semua perjalanannya. Jumlah feromon di setiap sisi diubah dengan menerapkan pembaruan foremon global sesuai dengan persamaan berikut:

• **Pembaruan Feromon Global:**

$$\tau(i,j) \leftarrow (1 - \rho) \cdot \tau(i,j) + \rho \cdot \frac{1}{L_{gb}} \quad (3)$$

di mana:

$\tau_{i,j}$ = jumlah feromon pada sisi i,j
 R = parameter yang mewakili penguapan feromon global; yaitu antara 0 dan 1 ($0 < \rho < 1$)
 L_{gb} = jarak terpendek dari awal iterasi ke iterasi saat ini.

Pembaruan global dirancang untuk mengurangi jumlah feromon di semua sisi sebesar ρ . Kemudian tambahkan jumlah feromon pada sisi rute dengan jarak terpendek. Parameter ρ pada persamaan 3 untuk menentukan jumlah penguapan feromon. Semakin besar nilai ρ , semakin besar penguapan feromon. Penguapan feromon yang terlalu banyak akan menyebabkan perjalanan semut cepat mencapai kesimpulan yg konvergen pada rute tertentu.

2. *Menentukan Parameter Kontrol Algoritma ACO*

Masalah optimasi dalam penelitian ini dipengaruhi oleh 4 (empat) parameter kontrol yang berbeda dan dapat mempengaruhi output dari algoritma, algoritma akan dievaluasi sesuai dengan kombinasi yang berbeda dari parameter ini. Parameter tersebut dapat dilihat pada Table 1.

Tabel I. PENGATURAN PARAMETER

Parameter	Pengaturan
Semut	5; sepuluh

alfa (α)	0,1; satu
beta (β)	2,25; empat
ro (ρ)	0,5; 0,5

Tabel 1 menunjukkan pengaturan parameter kontrol yang digunakan untuk mengevaluasi kinerja dan output dari algoritma.

3. *Clustering data kapasitas kendaraan untuk memecahkan masalah perutean CVRP*

Clustering adalah teknik pengelompokan data kedalam beberapa kelas cluster berdasarkan karakteristik yang sama, sehingga setiap kelas cluster memiliki karakteristik yang berbeda dengan yang lain. Dan untuk menentukan jumlah kelas cluster yang optimal pada setiap rute di kumpulan data pada penelitian ini. Yaitu dengan menerapkan metode indeks validitas, dimana jika pada uji validitas memberikan nilai yang lebih rendah maka dapat dikatakan bahwa jumlah cluster yang digunakan lebih baik.

HASIL PEMBAHASAN

Program pencarian rute yang dikembangkan dapat memberikan tingkat optimalisasi hasil output dan dapat digunakan sebagai referensi dalam pengambilan keputusan. Pengujian dilakukan dengan melakukan perubahan nilai parameter alpha dan beta, karena kedua parameter tersebut berperan dalam mengubah hasil pencarian rute terbaik selama 100 iterasi.

Berikut ini adalah skenario pengujian yang akan dijalankan pada simpul data alamat pelanggan di setiap kendaraan:

- Skenario 1 : Perubahan menggunakan parameter alpha (α) dengan nilai = 0,1; 1 dan 5.
- Skenario 2 : Perubahan parameter beta (β) digunakan dengan nilai = 2,25; 4 dan 8.

Hasil pengujian satu kendaraan pada data semua simpul alamat pelanggan untuk menentukan jarak dengan nilai alpha (α) = 0,1 dan beta (β) = 2,25 dapat dilihat pada Tabel 2 :

Tabel II. MATRIKS JARAK 1

Simpul	1	2	3	4	5	6	7
1	-	17,5	7,2	6,4	17,6	14,6	5,9
2	17,5	-	29,5	24,7	2,9	38,7	17,5
3	7,2	29,5	-	5,0	27,7	15,8	14,7
4	6,4	24,7	5,0	-	27,2	11,8	11,4
5	17,6	2,9	27,7	27,2	-	38,5	21,2
6	14,6	38,7	15,8	11,8	38,5	-	23,0
7	5,9	17,5	14,7	11,4	21,2	23,0	-

Pada Tabel 2 terlihat dengan menggunakan parameter alpha (α) = 0,1 dan beta (β) = 2,25 menghasilkan jarak dengan tampilan matriks. Simpul

mewakili alamat pelanggan. Jarak dari simpul 1 ke simpul 2 adalah = 17,5 km begitupun jarak dari simpul 2 ke simpul 1. Yang berarti dari depo awal ke pelanggan 1 berjarak=17,5km. Simpul 1 ke simpul 3 berjarak=7,2 km, yang berarti dari depo awal ke pelanggan 3 berjarak=7,2km. Dan seterusnya.

Sementara itu, hasil pengujian satu kendaraan pada data semua simpul alamat pelanggan untuk menentukan jarak dengan nilai alpha (α) = 1 dan beta (β) = 4 dapat dilihat pada Tabel 3.

TABEL III. MATRIKS JARAK 2

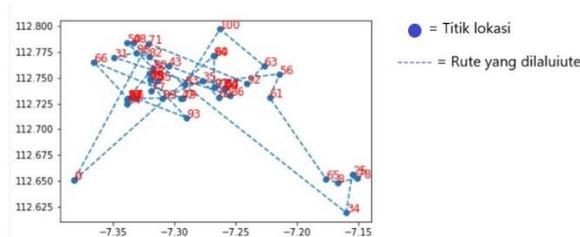
Simpul	1	2	3	4	5	6	7
1	-	23,0	26,3	5,5	20,9	2,1	9,6
2	23,0	-	2,2	11,1	2,1	13,0	13,7
3	26,3	2,2	-	12,3	3,9	15,0	11,3
4	5,5	11,1	12,3	-	3,3	4,1	7,6
5	20,9	2,1	3,9	3,3	-	15,0	18,1
6	2,1	13,0	15,0	4,1	15,0	-	9,5
7	9,6	13,7	11,3	7,6	18,1	9,5	-

Pada Tabel 3 terlihat dengan menggunakan parameter alpha (α) = 1 dan beta (β) = 4 menghasilkan jarak dengan tampilan matriks. Simpul mewakili alamat pelanggan. Jarak dari simpul 1 ke simpul 2 adalah = 23 km begitupun jarak dari simpul 2 ke simpul 1. Yang berarti dari depo awal ke pelanggan 1 berjarak=23 km. Simpul 1 ke simpul 3 berjarak=26,3 km, yang berarti dari depo awal ke pelanggan 3 berjarak=26,3 km. Dan seterusnya.

Penentuan jarak ini akan digunakan pada *clustering* data pelanggan berdasarkan kapasitas kendaraan dan permintaan pelanggan.

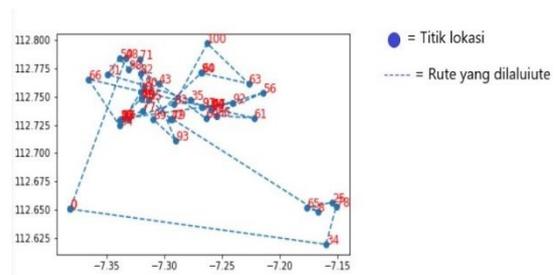
Menampilkan hasil visualisasi referensi rute

a. Hasil pengujian satu kendaraan pada semua data simpul alamat pelanggan untuk penentuan jarak dengan alpha (α) = 0.1 dan beta (β) = 2.25 seperti pada Gambar 4.



Gambar 4. Hasil Uji 1

b. Hasil pengujian satu kendaraan dari semua simpul alamat pelanggan untuk penentuan jarak dengan alpha (α) = 1 dan beta (β) = 4, seperti terlihat pada Gambar 5.



Gambar 4. Hasil Uji 1

Hasil referensi rute

Berdasarkan hasil yang diperoleh dari pencarian rute optimal yang diuji sebelumnya, diperoleh rekomendasi baru untuk rute dengan jarak yang berbeda, seperti terlihat pada tabel 4 :

TABEL IV. PERBANDINGAN JARAK ANTARA RUTE LAMA DAN MANUAL

rute lama	Rute baru
672 km	445 km
Selisih jarak = 227 km	

Berdasarkan Tabel 4, total selisih jarak antara jalur lama dan jalur baru adalah 227 km. Tampilan rekomendasi rute baru tersebut adalah sebagai berikut:

- 0. PUSAT DEPO - Dermaga LCD blok c No.3; taman – Sidoarjo
- ↓
- 54. SENYUEN WAKTU - Jl. Tanggal V No. 78, Tanggal, Keck. Gajungan, Surabaya
- ↓
- 42. Toserba Palapa - Jl. Adityawarman No.55, Savungaling, Kek. Wonokromo, Surabaya
- ↓
- 91. Wisata Mencicipi - Jl. Basuki Rahmat No.76, Tegalsari, Surabaya
- ↓
- 97. Wisata selera - Embong Kalyasin, Kek. Ubin, Surabaya
- ↓
- 64. Toko 67 - Zhl. Genteng Besar No.67, Genteng, Kek. Ubin, Surabaya
- ↓
- 44. Panen Raya - Jl. Genteng Besar No.77 A, Genteng Surabaya
- ↓
- 3. Bhek Putra - Jl. Genteng Besar No.75, Genteng, Surabaya
- ↓
- 90. Wisata Mencicipi - Jl. Genteng Besar No.83A, Genteng, Surabaya
- ↓
- 57. Silakan masuk - Zhl. Genteng Besar No. 72 - 74, Genteng, Surabaya
- ↓

83. Transmart - Jl. Ngagel No. 137 - 141, Ngagel, Keck. Wonokromo, Surabaya ↓
 95. Wisata Mencicipi - Jl. Raya Jemursari No.164, Jemur Wonosari, Tengilis Mejoyo, Surabaya ↓
 12. Supermarket Chicco - st. Raya Tengilis No.82, Tengilis Mejoyo, Kek. Tengilis Mejoyo, Surabaya ↓
 55. Ulem fiber sangat cocok untuk lipat WO - Jl. Melenturkan sel Merisi. Airdas, Bendul Merisi, Keck. Wonolo, Surabaya

Analisis hasil tes

- Berdasarkan hasil pengujian dengan menggunakan skenario variasi alpha dan beta, didapatkan hasil yang paling optimal diperoleh dengan menggunakan nilai alpha sebesar 0,8 dan nilai beta sebesar 4 yang memberikan hasil runtime tercepat. Namun, hal ini tidak membuat perbedaan hasil jarak, karena jumlah simpul masukan untuk alamat klien masih kecil.
- Menggunakan metode ACO dan selisih nilai alpha dan beta, efisiensi jarak yang diperoleh adalah 227 km.
- Pendistribusian produk yang dilaksanakan oleh IKM berlandaskan konsep “one car for one store”, pengiriman dalam waktu satu hari.

KESIMPULAN

Dari kajian yang telah dilakukan oleh peneliti selama melakukan penelitian ini, ada beberapa kesimpulan yang dibuat oleh peneliti. Bahwa Algoritme ACO dapat membuat cluster yang cukup baik untuk solusi CVRP dan membuat rute distribusi yang optimal dan efisien. Nilai parameter alpha dan beta sangat berpengaruh dalam mengubah hasil pencarian rute terbaik terutama pada perhitungan jarak. Jumlah iterasi yang digunakan memiliki pengaruh yang signifikan, semakin besar jumlah iterasi yang digunakan maka semakin mendekati solusi optimal. Jumlah iterasi yang diperlukan untuk mencapai hasil terbaik tidak berkorelasi positif dengan jumlah poin yang diselesaikan.

REFERENSI

[1] Brogan, W. L. "Applications of a determinant identity to pole-placement and observer problems" IEEE Transactions on Automatic Control (Volume: 19, Issue: 5, October 1974)

[2] Wan Amir Fuad Wajdi Othman, Aeizaal Azman Abd Wahab, Syed Sahal Nazli Alhady, Haw Ngie Wong. Solving Vehicle Routing Problem using Ant Colony Optimisation (ACO) Algorithm. ISSN: 2348-7860 (O) | 2348-7852 (P) | Vol. 5 No. 9 | September-October 2018 | PP. 500-507..

[3] M. Reed, A. Yiannakou, and R. Evering, "An ant colony algorithm for the multi-compartment vehicle routing

problem," Applied Soft Computing, vol. 15, pp. 169-176, 2// 2014

[4] M. Dorigo and L. M. Gambardella, "Ant colony system: a cooperative learning approach to the traveling salesman problem," IEEE

[5] Baldacci, R., P. Toth and D. Vigo, 2010. Exact algorithms for routing problems under vehicle capacity constraints. Ann. Oper. Res., 175: 213-245. DOI: 10.1007/s10479-009-0650-0.

[6] Tan, W.F., 1, L.S. Lee, 1, Z.A. Majid and H.V. Seow. Ant Colony Optimization for Capacitated Vehicle Routing Problem. Journal of Computer Science 8 (6): 846-852, 2012.

[7] Modhi Lafta Mutara*, M.A. Burhanuddina, Asaad Shakir Hameeda, Norzihani Yusofa and Hussein Jameel Mutasharb. An efficient improvement of ant colony system algorithm for handling capacity vehicle routing problem. International Journal of Industrial Engineering Computations 11 (2020) 549–564.

[8] Ibrahim A.A, Lo N., Abdulaziz R.O, Ishaya J.A. CAPACITATED VEHICLE ROUTING PROBLEM. ISSN- 2350-0530(April 2019), ISSN-2394-3629(P) DOI : 10.5281/zenodo. 2636820.

[9] Bruce L Golden, Subramanian Raghavan, and Edward A Wasil, The Vehicle Routing Problem: Latest Advances and New Challenges, vol. 43, Springer Science & Business Media, 2008.

[10] Dorigo, M., & Gambardella, L. M. (1997). Ant colony system: a cooperative learning approach to the traveling salesman problem. IEEE Transactions on evolutionary computation, 1(1), 53-66.

[11] Dorigo, M., Birattari, M., & Stutzle, T. (2006). Ant colony optimization. IEEE computational intelligence magazine, 1(4), 28-39.

[12] Huo, L., Yan, G., Fan, B., Wang, H., & Gao, W (2014, August). School bus routing problem based on ant colony optimization algorithm. In 2014 IEEE Conference and Expo Transportation Electrification Asia-Pacific (ITEC Asia-Pacific) (pp. 1-5). IEEE.

[13] Dantzig, George Bernard; Ramser, John Hubert (October 1959). "The Truck Dispatching Problem" (PDF). *Management Science*. 6 (1):891. doi:10.1287/mnsc.6.1.80.