

PENENTUAN LOKASI COLD STORAGE DAN RUTE KENDARAAN PADA PRODUK PERISHABLE DENGAN LOCATION ROUTING PROBLEM

DETERMINATION OF COLD STORAGE LOCATION AND VEHICLE ROUTE FOR PERISHABLE PRODUCT WITH LOCATION ROUTING PROBLEM

Tito Bisma May Willis ^{a,1}, Ade Aisyah Arifna Putri ^{b,2}

^a Teknik Logistik, Institut Teknologi Kalimantan, Jl. Soekarno Hatta KM 15, Balikpapan,
Kalimantan Timur, Indonesia 76127

^b Teknik Industri, Fakultas Teknik, Universitas Sebelas Maret, Jl. Ir. Sutami 36 Ketingan, Jebres, Surakarta,
Jawa Tengah, Indonesia 57126

¹ tito.willis@lecturer.itk.ac.id, ² aisyaharifna@staff.uns.ac.id

* email corresponding: tito.willis@lecturer.itk.ac.id

Diterima: 10 Februari 2025, direvisi: 14 Maret 2025, disetujui: 01 April 2025, diterbitkan: 30 April 2025

ABSTRAK

Jarak tempuh dalam aktivitas distribusi merupakan suatu *variable cost* yang dibebankan oleh pihak penanggung. Semakin jauh jarak tempuh dalam pendistribusian atau penjemputan barang maka akan semakin besar *variable cost* yang harus ditanggung. Jarak tempuh dapat dipangkas dengan cara pengambilan rute yang efisien atau dengan merencanakan penentuan lokasi fasilitas yang efektif. Studi kasus dalam penelitian ini adalah pengangkutan produk susu segar peternak sapi perah oleh Koperasi Unit Desa (KUD) Kertajaya dari pos pengumpulan ke *cold storage* yang melibatkan lebih dari 700 peternak sapi perah. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui solusi terbaik dari *Location Routing Problem* yang dihasilkan oleh *Maximal Covering Models* dalam penentuan lokasi *cold storage*, dan *Vehicle Routing Problem* dengan algoritma *Tabu Search* dalam penentuan rute kendaraan untuk meminimalisasi jarak tempuh. Dari hasil *Maximal Covering Model*, menghasilkan usulan lokasi *cold storage* baru dengan cakupan yang dilayani lebih besar dengan jarak tempuh terpendek, serta algoritma *Tabu Search* dalam penentuan rute kendaraan menghasilkan usulan rute yang paling optimal. Usulan dalam penelitian ini dapat memangkas jarak tempuh kendaraan hulu sebesar 12.1 Km dan kendaraan hilir sebesar 4.2 Km perharinya, serta efisiensi jumlah kendaraan hulu sebanyak 2 unit kendaraan.

Kata kunci : *Location Routing Problem, Maximal Covering Models, Perishable, Tabu Search*

ABSTRACT

The distance traveled in distribution activities is a variable cost charged by the guarantor. The further the distance traveled in the distribution or pick-up of goods, the greater the variable cost that must be borne. The distance traveled can be reduced by taking an efficient route or by planning an effective location for facilities. The case study in this study is the transportation of fresh milk products from dairy farmers by the Kertajaya Village Unit Cooperative from the collection post to cold storage involving more than 700 dairy farmers. This study aims to determine the best solution to the Location Routing Problem generated by Maximal Covering

Models in determining the location of cold storage, and the Vehicle Routing Problem with the Tabu Search algorithm in determining vehicle routes to minimize the distance traveled. Based on the Maximal Covering Model, a new cold storage location is proposed that maximizes service coverage while minimizing travel distance, and the Tabu Search algorithm identifies the most efficient vehicle routes. The proposed solution in this study can reduce the daily travel distance by 12.1 km for upstream vehicles and 4.2 km for downstream vehicles, while also improving fleet efficiency by reducing the number of upstream vehicles required by two units.

Keywords : *Location Routing Problem, Maximal Covering Models, Perishable, Tabu Search*

Pendahuluan

Susu segar dari sapi perah merupakan *perishable foods* atau makanan/minuman yang mudah rusak atau busuk, sehingga memiliki masa simpan yang tidak lama. Kehilangan dan pemborosan produk susu akibat pembusukan sangat tinggi (Food and Agriculture Organization, 2019). Pembusukan ini dapat disebabkan oleh berbagai faktor risiko, seperti ketidakmampuan untuk memasarkan produk susu, kurangnya transportasi dan *cold chain*, serta pasokan listrik yang tidak stabil ke pabrik pengolahan susu dan pendingin (Prakash et al., 2017). Produk susu segar jika tidak ditangani dengan cepat dalam proses kegiatan pengumpulan, distribusi maupun penyimpanannya maka akan mengalami penurunan nilai jual (Abbas et al., 2023).

Permasalahan terkait kerusakan produk susu segar ini juga menjadi tantangan utama yang dihadapi oleh KUD Kertajaya dalam menjalankan kegiatan logistik dan distribusi dari peternak ke fasilitas penyimpanan. Koperasi Unit Desa (KUD) Kertajaya merupakan koperasi pengumpulan dan pemasaran susu segar yang melibatkan lebih dari 700 peternak sapi perah. KUD Kertajaya saat ini berstatus sebagai pemasok resmi untuk salah satu perusahaan multinasional terkemuka di bidang pengolahan susu, dengan volume penjualan melebihi 20 ton per hari. Terdapat 2 kegiatan logistik yang ditugaskan kepada KUD Kertajaya yaitu rute hulu dan hilir. Kedua rute tersebut memiliki kendaraan khususnya masing-masing yaitu kendaraan hulu dan kendaraan hilir. Aktivitas kendaraan hulu dimulai dari KUD melakukan pengumpulan susu segar yang dilakukan sebanyak 2 kali sehari yaitu pagi dan sore. Kendaraan mengambil (*pickup*) susu segar dari pos kumpul yang tersebar di berbagai lokasi peternak. Setelah itu, kendaraan mengantarkan (*delivery*) susu ke *cold storage* untuk penyimpanan sebelum diproses lebih lanjut atau dikirim ke perusahaan pengolah. Berbeda dengan kendaraan hulu yang melakukan *pickup* dan *delivery*, kendaraan hilir hanya melakukan satu jenis aktivitas, yaitu mengirimkan susu dari *cold storage* ke perusahaan multinasional sebanyak 1 kali sehari.

KUD memiliki dua tipe pos yang memiliki fungsi berbeda yaitu pos kumpul dan pos *cold*

storage. Penempatan beberapa pos *cold storage* milik KUD saat ini berada cukup jauh dari sebaran peternak sapi perah, sehingga menyebabkan jarak tempuh kendaraan dalam aktivitas pengumpulan susu menjadi lebih panjang. Kondisi ini berpotensi meningkatkan biaya operasional logistik dalam jangka panjang. Di sisi lain, rute distribusi yang digunakan, baik untuk kendaraan hulu maupun hilir, masih belum optimal. Hal ini terlihat dari masih adanya kendaraan yang melayani beberapa pos meskipun kapasitasnya belum terisi penuh, sehingga menyebabkan inefisiensi rute, meningkatnya jarak tempuh, serta potensi keterlambatan pengiriman. Oleh karena itu, penelitian ini difokuskan untuk mengkaji dan mengoptimalkan sistem logistik KUD Kertajaya melalui pendekatan penentuan lokasi dan rute yang lebih efisien.

Salah satu penelitian sebelumnya membahas efisiensi distribusi susu melalui metode *Saving Matrix dan Nearest Insert* untuk meminimalkan biaya transportasi (Sibuea et al., 2023). Berbeda dengan pendekatan tersebut yang hanya berfokus pada optimasi rute distribusi satu arah, penelitian ini mengintegrasikan penentuan lokasi fasilitas dan rute kendaraan. Selain itu, penelitian mengenai efisiensi distribusi susu juga dilakukan menggunakan algoritma *Min Plus Algebra* (Suwanti et al., 2017). Penelitian tersebut berhasil mengidentifikasi jalur tercepat berdasarkan waktu tempuh. Meskipun demikian, penelitian tersebut hanya mengoptimalkan waktu perjalanan tanpa mempertimbangkan aspek logistik lainnya seperti kapasitas kendaraan, jumlah titik distribusi.

Penelitian-penelitian sebelumnya umumnya hanya berfokus pada penentuan rute kendaraan, sehingga diperlukan studi lanjutan yang juga mempertimbangkan aspek penempatan fasilitas logistik. Oleh karena itu, penelitian ini mengusulkan pendekatan penentuan lokasi *cold storage* menggunakan *Maximal Covering Models* dan penentuan rute menggunakan *Vehicle Routing Problem* yang dikembangkan dalam bentuk model *Location Routing Problem (LRP)*. Dengan mengimplementasikan LRP, solusi yang dihasilkan tidak hanya memaksimalkan cakupan permintaan yang terpenuhi tetapi juga meminimalkan jarak tempuh dan jumlah kendaraan operasional secara keseluruhan (Drexler & Schneider, 2015; Sakti et al., 2019).

Metode Penelitian

Maximal Covering

Discrete Location Models terdiri dari 3 cabang, yaitu *Covering Base Models*, *Median Base Models*, dan *p-dispersion* (Daskin, 2008). Dalam penelitian ini, pendekatan penentuan lokasi *cold storage* menggunakan model *Maximal Covering*, yang merupakan bagian dari

kelompok *Covering Base Models* dalam kerangka *Discrete Location Models*. Pemilihan model *Maximal Covering Location* dalam penelitian ini didasarkan pada kondisi riil di lapangan, di mana jumlah fasilitas *cold storage* yang dapat dibangun terbatas, namun cakupan layanan terhadap peternak harus dimaksimalkan dalam radius tertentu agar kualitas susu segar tetap terjaga. Pendekatan ini lebih sesuai dibandingkan dengan model *Set Covering* karena mempertimbangkan keterbatasan sumber daya dan orientasi cakupan permintaan terbesar, sejalan dengan karakteristik sistem logistik produk perishable seperti susu segar (García & Marín, 2015). Tujuan utama *Maximal Covering* adalah memaksimalkan jumlah titik permintaan yang terlayani dalam batasan sejumlah p lokasi fasilitas yang tersedia. *Maximal Covering Models* diformulasikan sebagai berikut (Daskin, 2008; Murray, 2016):

$$h_i = \text{permintaan pada titik } i \quad p = \text{banyaknya fasilitas untuk penentuan lokasi}$$

$$z_i = \begin{cases} 1 & \text{jika titik } i \text{ dipenuhi} \\ 0 & \text{jika tidak} \end{cases} \quad x_j = \begin{cases} 1 & \text{jika fasilitas harus dibangun di titik } j \\ 0 & \text{jika tidak} \end{cases}$$

Fungsi Tujuan :

$$\text{Maksimasi } \sum h_i z_i$$

(1) Fungsi Pembatas :

Coverage Constraint

$$z_i \leq \sum_{j \in J} a_{ij} x_j \quad \forall i \in I \quad (2)$$

Facility Limit Constraint

$$\sum_{j \in J} x_j \leq p \quad (3)$$

Binary Decision Variables

$$x_j \in \{0,1\} \quad \forall j \in J \quad (4)$$

$$z_i \in \{0,1\} \quad \forall i \in I \quad (5)$$

Berdasarkan formulasi pada Maximal Covering Model, tujuan pada persamaan (1) adalah memaksimalkan total permintaan yang dapat dilayani oleh fasilitas yang dipilih. Batasan (2) memastikan bahwa permintaan pada titik i hanya dianggap terpenuhi jika terdapat setidaknya satu fasilitas pada lokasi alternatif j yang mampu melayani titik tersebut. Batasan (3) membatasi jumlah maksimum fasilitas yang dapat dibangun, sesuai dengan kapasitas atau anggaran yang tersedia. Sementara itu, batasan (4) dan (5) merupakan variabel keputusan biner yang menunjukkan apakah suatu lokasi fasilitas dipilih (x_j) dan apakah suatu titik permintaan dilayani (z_i).

Vehicle Routing Problem

Vehicle Routing Problem (VRP) adalah sebuah problem kombinatorial dengan basisnya adalah sisi dari graf $G(V, A)$, di mana $V = \{0, \dots, n\}$ adalah himpunan titik dan A himpunan busur. Node $i = 1, \dots, n$, menunjukkan pelanggan, sedangkan node 0 menunjukkan depot/*cold storage*. Depot digambarkan juga dengan $n + 1$. Biaya non negative/jarak tempuh (C_{ijk}), terkait dengan setiap busur $(i, j) \in A$ merupakan biaya travel yang dikeluarkan dalam perjalanan dari titik i ke titik j . VRP diformulasikan sebagai berikut (Toth & Vigo, 2014) :

Fungsi Tujuan :

$$\text{Min } C = \sum_{k=1}^K \sum_{i=0}^{N+1} \sum_{j=0}^{N+1} c_{ijk} x_{ijk} \quad (6)$$

Fungsi Pembatas :

$$\sum_{k=1}^K \sum_{j=0}^{N+1} x_{ijk} = 1; i = 1, 2, \dots, N \quad (7)$$

$$\sum_{i=1}^N d_i \sum_{j=0}^{N+1} x_{ijk} \leq v_k; k = 1, 2, \dots, K \quad (8)$$

$$\sum_{j=0}^{N+1} x_{0jk} = 1; k = 1, 2, \dots, K \quad (9)$$

$$\sum_{i=0}^{N+1} x_{ihk} \sum_{j=0}^{N+1} x_{hjk} = 0; h = 1, 2, \dots, N; k = 1, 2, \dots, K \quad (10)$$

$$\sum_{i=0}^{N+1} x_{i,N+1,k} = 1; k = 1, 2, \dots, K \quad (11)$$

$$x_{ijk} = 0, 1 \forall i = 0, 2, \dots, N + 1; k = 1, 2, \dots, K \quad (12)$$

dengan:

c_{ijk} = biaya travel antara konsumen i dan j .

K = nomor kendaraan.

d_i = total permintaan kendaraan k sampai konsumen i .

N = nomor pelanggan (0 menunjukkan depot).

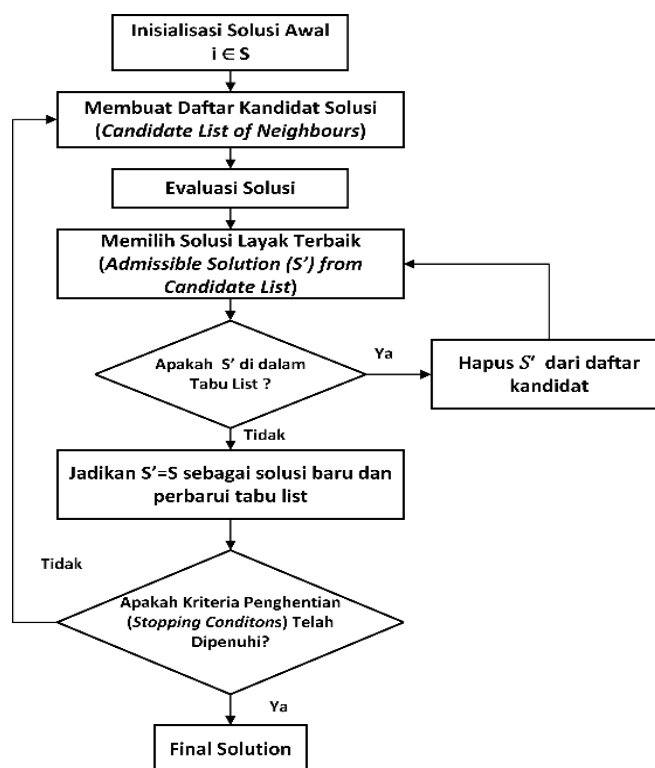
v_k = kapasitas maksimum kendaraan k .

Persamaan (6) merupakan fungsi tujuan dari permasalahan, yaitu meminimalkan total biaya perjalanan yang ditimbulkan oleh seluruh kendaraan dalam proses distribusi. Persamaan (7) memastikan bahwa setiap konsumen hanya dilayani oleh satu kendaraan, sehingga tidak terjadi duplikasi layanan. Persamaan (8) digunakan untuk membatasi total permintaan yang

dibawa oleh kendaraan ke- k , agar tidak melebihi kapasitas maksimum kendaraan tersebut. Selanjutnya, persamaan (9) hingga (11) berfungsi untuk menjamin alur perjalanan kendaraan, yaitu bahwa setiap kendaraan: berangkat dari depot awal (node 0), mengunjungi sejumlah konsumen, dan kembali ke depot tujuan (node $N+1$). Terakhir, persamaan (12) menyatakan bahwa seluruh variabel keputusan x_{ijk} bersifat biner, yaitu bernilai 1 jika kendaraan ke- k melintasi rute dari titik i ke titik j , dan 0 jika tidak.

Tabu Search

Tabu Search adalah metode optimasi berbasis local search yang bekerja dengan menjelajahi ruang solusi melalui perbaikan bertahap terhadap solusi awal. Algoritma ini memilih solusi terbaik dari lingkungan (*neighborhood*) solusi saat ini, namun menghindari solusi yang telah dikunjungi sebelumnya dengan mencatatnya dalam *tabu list* untuk mencegah pengulangan atau *cycling*. Struktur memori ini memungkinkan algoritma keluar dari jebakan *local optimum*. Selain itu, jika solusi baru memiliki nilai fungsi objektif yang lebih baik dibandingkan solusi terbaik sebelumnya, maka solusi tersebut akan disimpan sebagai solusi terbaik yang baru (Lai et al., 2016; Prajapati et al., 2020). Gambar 1 menunjukkan tahapan-tahapan dari penyelesaian algoritma Tabu Search (Hao et al., 2017; Prajapati et al., 2020).



Gambar 1. Algoritma Tabu Search

Pos kumpul berfungsi sebagai titik pengumpulan sementara, tempat para peternak (penyetor susu) menunggu kedatangan kendaraan pengangkut susu pada pagi dan sore hari. Pos ini mempermudah proses pengambilan susu dari peternak dan menjadi titik awal dalam rantai distribusi susu segar. Saat ini, terdapat 16 pos kumpul yang terdaftar, namun 2 di antaranya hanya berperan sebagai mitra penjualan dan tidak termasuk dalam sistem pelayanan logistik, sehingga hanya 14 pos kumpul aktif yang terlibat dalam aktivitas pengumpulan susu. Pos *cold storage* berfungsi sebagai fasilitas penyimpanan sementara bagi susu segar yang telah dikumpulkan dari pos kumpul. Fasilitas ini memungkinkan penanganan material (*material handling*) dalam volume besar, sekaligus menjaga kualitas susu sebelum dikirimkan ke pihak pembeli. Saat ini, terdapat 7 pos *cold storage* yang dikelola oleh KUD. Tabel 1. menunjukkan data jenis pos pada KUD dan pada tabel 2 terdapat data jarak antar node.

Tabel 1. Data Pos

No	Node	Jumlah Susu (liter)	Jenis Pos	No	Node	Jumlah Susu (liter)	Jenis Pos
1	A	3.139	<i>Cold Storage</i>	13	M	344	Pos Kumpul
2	B	2.986	<i>Cold Storage</i>	14	N	2.112	Pos Kumpul
3	C	1.346	<i>Cold Storage</i>	15	O	1.406	<i>Cold Storage</i>
4	D	279	Pos Kumpul	16	P	526	Pos Kumpul (Mandiri)
5	E	1.156	Pos Kumpul	17	Q	603	Pos Kumpul
6	F	88	<i>Cold Storage</i>	18	R	939	<i>Cold Storage</i>
7	G	89	Pos Kumpul	19	S	146	Pos Kumpul
8	H	251	<i>Cold Storage</i>	20	T	185	Pos Kumpul
9	I	88	Pos Kumpul	21	U	594	Pos Kumpul
10	J	237	Pos Kumpul	22	V	-	Mitra
11	K	83	Pos Kumpul	23	W	-	Mitra
12	L	205	Pos Kumpul (Mandiri)				

Tabel 2. Data Jarak

Jarak (Km)	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q	R	S	T	U
A	0.0	1.2	1.6	3.2	4.2	6.3	6.2	7.9	8.6	8.7	9.5	14.3	8.3	10.3	1.8	4.2	4.7	4.0	4.6	5.1	6.3
B	1.2	0.0	1.3	2.9	3.9	6.0	5.9	7.6	8.3	8.4	9.2	14.0	8.0	10.0	3.0	5.4	4.6	3.9	4.5	5.6	6.8
C	1.6	1.3	0.0	1.6	2.6	4.7	4.6	6.3	7.0	7.1	7.9	12.7	6.7	8.7	1.2	3.6	3.3	2.6	3.2	4.3	5.5
D	3.2	2.9	1.6	0.0	1.0	3.1	3.0	4.7	5.4	5.5	6.3	11.1	5.1	7.1	2.8	5.2	4.0	3.3	2.7	3.8	5.0
E	4.2	3.9	2.6	1.0	0.0	2.1	2.0	3.7	4.4	4.5	5.3	10.1	4.1	6.1	3.8	6.2	3.0	2.3	1.7	2.8	4.0
F	6.3	6.0	4.7	3.1	2.1	0.0	0.6	2.3	3.0	3.1	3.9	9.4	4.6	6.6	5.0	7.4	3.5	2.8	2.2	3.3	4.5

Jarak (Km)	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q	R	S	T	U
G	6.2	5.9	4.6	3.0	2.0	0.6	0.0	1.7	2.4	2.5	3.3	8.8	4.5	6.5	4.9	7.3	3.4	2.7	2.1	3.2	4.4
H	7.9	7.6	6.3	4.7	3.7	2.3	1.7	0.0	1.2	0.8	1.6	7.1	6.2	7.3	6.6	9.0	5.1	4.4	3.8	4.9	6.1
I	8.6	8.3	7.0	5.4	4.4	3.0	2.4	1.2	0.0	1.0	2.7	8.2	6.9	8.4	7.3	9.7	5.8	5.1	4.5	5.6	6.8
J	8.7	8.4	7.1	5.5	4.5	3.1	2.5	0.8	1.0	0.0	1.7	7.2	7.0	7.4	7.4	9.8	5.9	5.2	4.6	5.7	6.9
K	9.5	9.2	7.9	6.3	5.3	3.9	3.3	1.6	2.7	1.7	0.0	5.5	7.7	5.7	8.2	10.6	6.7	6.0	5.4	6.5	7.7
L	14.3	14.0	12.7	11.1	10.1	9.4	8.8	7.1	8.2	7.2	5.5	0.0	6.0	4.0	12.6	15.0	11.1	10.4	9.8	10.9	12.1
M	8.3	8.0	6.7	5.1	4.1	4.6	4.5	6.2	6.9	7.0	7.7	6.0	0.0	2.0	6.6	9.0	5.1	4.4	3.8	4.9	6.1
N	10.3	10.0	8.7	7.1	6.1	6.6	6.5	7.3	8.4	7.4	5.7	4.0	2.0	0.0	8.6	11.0	7.1	6.4	5.8	6.9	8.1
O	1.8	3.0	1.2	2.8	3.8	5.0	4.9	6.6	7.3	7.4	8.2	12.6	6.6	8.6	0.0	2.4	2.9	2.2	2.8	3.9	5.1
P	4.2	5.4	3.6	5.2	6.2	7.4	7.3	9.0	9.7	9.8	10.6	15.0	9.0	11.0	2.4	0.0	5.3	4.6	5.2	6.3	7.5
Q	4.7	4.6	3.3	4.0	3.0	3.5	3.4	5.1	5.8	5.9	6.7	11.1	5.1	7.1	2.9	5.3	0.0	0.7	1.3	2.4	3.6
R	4.0	3.9	2.6	3.3	2.3	2.8	2.7	4.4	5.1	5.2	6.0	10.4	4.4	6.4	2.2	4.6	0.7	0.0	0.6	1.7	2.9
S	4.6	4.5	3.2	2.7	1.7	2.2	2.1	3.8	4.5	4.6	5.4	9.8	3.8	5.8	2.8	5.2	1.3	0.6	0.0	1.1	2.3
T	5.1	5.6	4.3	3.8	2.8	3.3	3.2	4.9	5.6	5.7	6.5	10.9	4.9	6.9	3.9	6.3	2.4	1.7	1.1	0.0	1.2
U	6.3	6.8	5.5	5.0	4.0	4.5	4.4	6.1	6.8	6.9	7.7	12.1	6.1	8.1	5.1	7.5	3.6	2.9	2.3	1.2	0.0

Seluruh aktivitas logistik KUD Kertajaya dilaksanakan menggunakan armada truk milik koperasi dengan berbagai kapasitas angkut, disesuaikan dengan jenis kegiatan logistik. Untuk kendaraan hulu, digunakan truk dengan kapasitas sekitar 1.500 liter, yang beroperasi dua kali sehari, yaitu pada pagi dan sore hari. Kendaraan ini bertugas untuk mengumpulkan susu segar dari pos kumpul peternak menuju pos *cold storage*. Sementara itu, kendaraan hilir menggunakan truk berkapasitas lebih besar, yaitu antara 5.000 hingga 6.500 liter, yang berfungsi untuk mengangkut seluruh susu yang telah terkumpul di pos *cold storage* menuju pihak pembeli. Tabel 3 menunjukkan data rute kendaraan dan kapasitas kendaraan.

Tabel 3. Data Kendaraan

No	Kapasitas (liter)	Rute Logistik	Titik Awal	No	Kapasitas (liter)	Rute Logistik	Titik Awal
1	1500	Hulu	A	4	5000	Hulu & Hilir	Z
2	1500	Hulu	A	5	6000	Hilir	E
3	1000	Hulu	F	6	6500	Hilir	N

Rute kendaraan hulu bermula dari titik awal atau tempat kendaraan singgah di rumah supir yang selanjutnya melakukan pengumpulan susu ke seluruh pos kumpul yang telah ditugaskan, selanjutnya kendaraan akan menyetor susu ke pos *cold storage* dan berakhir pada titik semula. Kendaraan hulu melakukan tur rutennya pada pagi dan sore hari dengan total jarak semua kendaraan 61.5 Km. Pos kumpul L dan P tidak dilayani karena melakukan logistik mandiri. Tabel 4 menunjukkan data rute kendaraan hulu.

Tabel 4. Data Rute Kendaraan Hulu

Kendaraan	Rute				Susu Segar (liter)		Jarak (Km)
	Awal	Pickup	Delivery	Akhir	Pagi	Sore	
1	A	D E	C	A	861	574	8.4
2	A	Q S T U	F	A	916.8	611.2	19.1
3	F	M G I J K	H	F	504.6	336.4	18.1
4	Z	N	H	Z	1267	845	15.9

Rute kendaraan hilir, bermula dari titik awal atau tempat kendaraan singgah di rumah supir yang selanjutnya melakukan pengumpulan susu ke semua pos *cold storage* yang ada, selanjutnya kendaraan akan menuju ke PT. Nestlé Indonesia, namun dalam penelitian ini proses hilir dianggap berakhir setelah kendaraan meninggalkan desa (titik Z) dengan total jarak semua kendaraan 64.4 Km. Tabel 5 menunjukkan data rute kendaraan hilir.

Tabel 5. Data Rute Kendaraan Hilir

Kendaraan	Rute			Susu Segar (liter)	Jarak (Km)
	Awal	Pickup	Akhir		
4	Z	A D	Z	4545	24.7
5	E	R F H	Z	5759	17.7
6	N	B C	Z	5767	22.0

Hasil dan Pembahasan

Location Problem dengan Mengimplementasikan *Maximal Covering Models*

Permasalahan dalam penentuan lokasi pos *cold storage* pihak KUD dimodelkan dengan *Maximal Covering*, sebab jumlah pos *cold storage* yang akan terpilih maksimal 7 pos dengan memindahkan fasilitas berpendingin yang telah ada sebelumnya. Langkah awal dalam implementasi *Maximal Covering Models* adalah menentukan matriks jarak dan memproyeksikannya. Dalam case ini pos kumpul L tidak diinputkan karena tanah pos bukan milik KUD sehingga tidak bisa ditransformasikan menjadi pos berpendingin. Langkah selanjutnya setelah memproyeksikan matriks jarak tiap pos adalah merumuskan fungsi tujuan dan batasan, fungsi tujuan dalam case ini adalah menentukan lokasi pos *cold storage* berdasarkan *supply* terbesar dengan memaksimalkan cakupan yang dapat dilayani serta dengan jarak terpendek, sehingga terdapat pengembangan model matematis dalam fungsi tujuan *Maximal Covering Models* ini.

$D_c = 3$ km (Jarak maksimal yang dapat dilayani fasilitas)

$p \leq 7$ (Jumlah pos)

Maximize : $\sum h_i x_j$

Maximize $3,139 x_a + 2,986 x_b + 1,346 x_c + 279 x_d + 1,156 x_e + 88 x_f + 89 x_g + 251 x_h + 88 x_i + 237 x_j + 83 x_k + 344 x_m + 2,112 x_n + 1,406 x_o + 526 x_p + 603 x_q + 939 x_r + 146 x_s + 185 x_t + 594 x_u$

Subject to : $\sum a_{ij} x_j \forall I \geq z_i$

(node A) $x_a + x_b + x_c + x_o \geq z_a$

(node B) $x_a + x_b + x_c + x_d + x_o \geq z_b$

(node C) $x_a + x_b + x_c + x_d + x_e + x_o + x_r \geq z_c$

(node D) $x_a + x_b + x_c + x_d + x_e + x_g + x_o + x_s \geq z_d$

(node E) $x_c + x_d + x_e + x_f + x_g + x_q + x_r + x_s + x_t \geq z_e$

(node F) $x_e + x_f + x_g + x_h + x_i + x_r + x_s + x_t \geq z_f$

(node G) $x_d + x_e + x_f + x_g + x_h + x_i + x_j + x_r + x_s \geq z_g$

(node H) $x_f + x_g + x_h + x_i + x_j + x_k \geq z_h$

(node I) $x_f + x_g + x_h + x_i + x_j + x_k \geq z_i$

(node J) $x_g + x_h + x_i + x_j + x_k \geq z_j$

(node K) $x_g + x_h + x_i + x_j + x_k \geq z_k$

(node M) $x_m + x_n \geq z_m$

(node N) $x_m + x_n \geq z_n$

(node O) $x_a + x_b + x_c + x_d + x_o + x_p + x_q + x_r + x_s \geq z_o$

(node P) $x_o + x_p \geq z_p$

(node Q) $x_e + x_o + x_q + x_r + x_s + x_t \geq z_q$

(node R) $x_c + x_e + x_f + x_g + x_o + x_q + x_r + x_s + x_t + x_u \geq z_r$

(node S) $x_d + x_e + x_f + x_g + x_o + x_q + x_r + x_s + x_t + x_u \geq z_s$

(node T) $x_e + x_q + x_r + x_s + x_t + x_u \geq z_t$

(node U) $x_r + x_s + x_t + x_u \geq z_u$

$\sum_j x_j \leq p$

(no. to locate) $x_a + x_b + x_c + x_d + x_e + x_f + x_g + x_h + x_i + x_j + x_k + x_m + x_n + x_o +$

$x_p + x_q + x_r + x_s + x_t + x_u \leq 7$

$$\begin{aligned}
 x_j &= 0,1 \\
 \text{(integrality)} \quad x_a x_b x_c x_d x_e x_f x_g x_h x_i x_j x_k x_m x_n x_o x_p x_q x_r x_s x_t x_u &= 0,1 \\
 z_i &= 0,1 \\
 \text{(integrality)} \quad z_a z_b z_c z_d z_e z_f z_g z_h z_i z_j z_k z_m z_n z_o z_p z_q z_r z_s z_t z_u &= 0,1
 \end{aligned}$$

Perhitungan menggunakan *software* Solver, terdapat perubahan lokasi pos *cold storage* setelah dilakukannya implementasi *Maximal Covering Models*. Pos *cold storage* yang saat ini berada di pos F akan lebih optimal jika pos N dijadikan pos *cold storage* yang baru.

Vehicle Routing Problem dengan Mengimplementasikan Algoritma Tabu Search

Penerapan algoritma *tabu search* dalam *vehicle routing problem* merupakan optimasi dari kelanjutan perhitungan rute awal dengan lokasi *cold storage* baru di mana perhitungannya menggunakan *software* Matlab R2018b. Tabel 6 dan Tabel 7 menunjukkan hasil optimasi menggunakan algoritma *tabu search* yang berupa rute dari kendaraan hulu dan hilir.

Tabel 6. Data Rute Kendaraan Hulu Tabu Search

Kendaraan	Rute				Susu Segar (liter)		Jarak (Km)
	Awal	Pick up	Delivery	Akhir	Pagi	Sore	
1	A	D E S T U G	H	A	1469	980	19.5
2	A	Q F I J K M	C	A	866	577	29.9

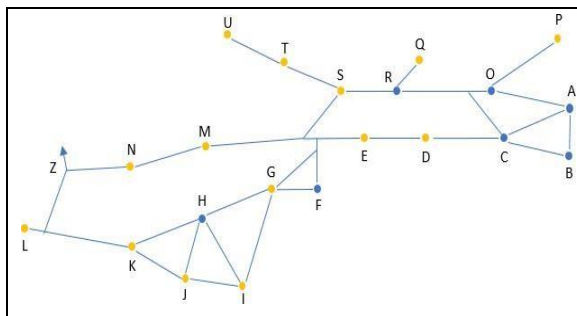
Tabel 7. Data Rute Kendaraan Hilir Tabu Search

Kendaraan	Rute			Susu Segar (liter)	Jarak (Km)
	Awal	Pick up	Akhir		
4	Z	N R O	Z	4457	21.2
5	E	C H	Z	5489	15.5
6	N	B A	Z	6125	23.5

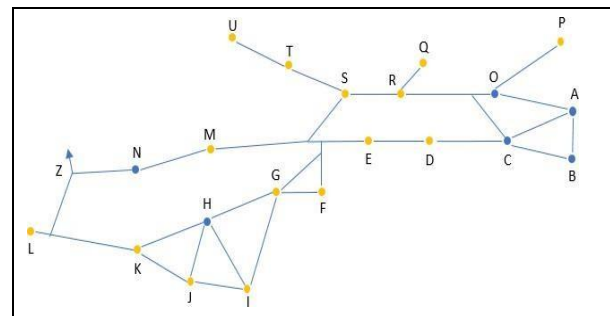
Analisa Location Problem

Permasalahan yang ditemukan adalah penentuan lokasi pos *cold storage* menggunakan pertimbangan sederhana. Usulan lokasi baru pos *cold storage* ini bertujuan untuk memaksimalkan pelayanan KUD bagi para peternak sapi hingga jangka panjang. Terlihat letak eksisting pos *cold storage* KUD berada di pos/titik A-B-C-F-H-O-R seperti pada Gambar 2.

Setelah dilakukan perhitungan lokasi optimal pos *cold storage* dengan pengembangan *Maximal Covering Models*, terdapat perubahan letak pos *cold storage* yaitu yang semula di titik F dipindah ke titik N. Titik F disebut kurang layak untuk menjadi pos *cold storage* karena di titik F peternak hanya menghasilkan sedikit susu, sedangkan di titik N terdapat banyak peternak dan penghasil susu dan jauh dari pos *cold storage* manapun. Oleh karena itu titik N dalam perhitungan *Maximal Covering Models* dengan pengembangan disebut layak sebagai usulan pos *cold storage* baru. Gambar 3. Menunjukkan proyeksi pos KUD baru berdasarkan hasil optimasi.



Gambar 2. Proyeksi Pos KUD



Gambar 3. Proyeksi Pos KUD Baru

Setelah ditinjau dari *coverage demand*-nya (jumlah produksi susu di pos *cold storage*) lokasi pos eksisting A-B-C-F-H-O-R lebih sedikit jumlah *coverage demand* yaitu sebesar 10.155 liter dibanding lokasi pos baru A-B-C-H-N-O-R yaitu sebesar 12.179 liter. Ditinjau dari *coverage distance* nya lokasi pos eksisting A-B-C-F-H-O-R harus menaungi pos kumpul dengan jarak terjauh N ke pos berpendingin terdekat R dengan jarak 6.4 Km, sedangkan lokasi pos usulan A-B-C-H-N-O-R hanya menghasilkan jarak pelayanan terjauhnya yaitu pos kumpul U ke pos berpendingin O dengan jarak 5.1 Km.

Rute kendaraan hulu dan hilir menggunakan algoritma *Tabu Search* dengan lokasi pos *cold storage* baru merupakan rute yang optimal dalam penelitian ini, rute usulan ini dapat memangkas jarak tempuh kendaraan hulu sebesar 12.1 Km perharinya, memangkas jarak tempuh kendaraan hilir sebesar 4.2 Km perharinya serta dapat mengurangi jumlah kendaraan hulu yang beroperasi dari 4 unit menjadi 2 unit kendaraan.

Simpulan

Penelitian ini mengintegrasikan *Maximal Covering Location Models* dan *Vehicle Routing Problem* dengan algoritma *Tabu Search* untuk mengoptimalkan sistem distribusi susu segar pada KUD Kertajaya. Lokasi baru *cold storage* (A-B-C-H-N-O-R) mampu mencakup total permintaan sebesar 12.179 liter, lebih tinggi dibanding lokasi eksisting (A-B-C-F-H-O-R)

sebesar 10.155 liter. Selain itu, cakupan jarak pelayanan maksimum juga berkurang dari 6,4 km menjadi 5,1 km, menandakan peningkatan efisiensi dalam distribusi. Rute kendaraan hulu dan hilir yang hasil optimasi mampu mengurangi jarak tempuh harian kendaraan hulu sebesar 12,1 km dan hilir sebesar 4,2 km, serta mengurangi jumlah kendaraan hulu yang dibutuhkan dari 4 unit menjadi 2 unit.

Secara keseluruhan, pendekatan terpadu ini terbukti efektif dalam meningkatkan efisiensi logistik distribusi susu segar, baik dari sisi cakupan layanan, pengurangan jarak tempuh, maupun penghematan armada kendaraan, serta dapat menjadi dasar perencanaan jangka panjang bagi KUD dalam mengelola rantai pasok produk perishable secara berkelanjutan, saran untuk penelitian selanjutnya adalah mengembangkan penentuan rute dengan konstrain waktu dan mengkonversikan total jarak tempuh dengan biaya tidak tetap.

Daftar Pustaka

- Abbas, H., Zhao, L., Gong, X., & Faiz, N. (2023). The Perishable Products Case to Achieve Sustainable Food Quality and Safety Goals Implementing On-Field Sustainable Supply Chain Model. *Socio-Economic Planning Sciences*, 87, 101562. <https://doi.org/10.1016/j.seps.2023.101562>
- Daskin, M. S. (2008). What You Should Know About Location Modeling. *Naval Research Logistics (NRL)*, 55(4), 283–294. <https://doi.org/10.1002/nav.20284>
- Drexler, M., & Schneider, M. (2015). A Survey of Variants and Extensions of the Location-Routing Problem. *European Journal of Operational Research*, 241(2), 283–308. <https://doi.org/10.1016/j.ejor.2014.08.030>
- Food and Agriculture Organization. (2019). *The State of Food and Agriculture 2019: Moving Forward on Food Loss and Waste Reduction*.
- García, S., & Marín, A. (2015). Covering Location Problems. In *Location Science* (pp. 93–114). Springer International Publishing. https://doi.org/10.1007/978-3-319-13111-5_5
- Hao, P., Wang, Z., Wu, G., Boriboonsomsin, K., & Barth, M. (2017). Intra-Platoon Vehicle Sequence Optimization For Eco-Cooperative Adaptive Cruise Control. *2017 IEEE 20th International Conference on Intelligent Transportation Systems (ITSC)*, 1–6.

<https://doi.org/10.1109/ITSC.2017.8317879>

- Lai, D. S. W., Caliskan Demirag, O., & Leung, J. M. Y. (2016). A Tabu Search Heuristic For The Heterogeneous Vehicle Routing Problem On A Multigraph. *Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review*, 86, 32–52. <https://doi.org/10.1016/j.tre.2015.12.001>
- Murray, A. T. (2016). Maximal Coverage Location Problem. *International Regional Science Review*, 39(1), 5–27. <https://doi.org/10.1177/0160017615600222>
- Prajapati, V. K., Jain, M., & Chouhan, L. (2020). Tabu Search Algorithm (TSA): A Comprehensive Survey. *2020 3rd International Conference on Emerging Technologies in Computer Engineering: Machine Learning and Internet of Things (ICETCE)*, 1–8. <https://doi.org/10.1109/ICETCE48199.2020.9091743>
- Prakash, S., Soni, G., Rathore, A. P. S., & Singh, S. (2017). Risk Analysis and Mitigation for Perishable Food Supply Chain: A Case of Dairy Industry. *Benchmarking: An International Journal*, 24(1), 2–23. <https://doi.org/10.1108/BIJ-07-2015-0070>
- Sakti, S., Yu, V. F., & Sopha, B. M. (2019). Heterogeneous Fleet Location Routing Problem For Waste Management: A Case Study Of Yogyakarta, Indonesia. *International Journal of Information and Management Sciences*, 30, 1–16.
- Sibuea, S. R., Hernawati, T., & Alfandi, A. (2023). Minimalisasi Biaya Transportasi Distribusi Produk Susu Ultra Milk Menggunakan Metode Saving Matrix dan Metode Nearest Insert di PT. Sumatra Utama Indah. *Buletin Utama Teknik*, 18(2), 126–129.
- Suwanti, V., Bintoto, P., & Dinullah, R. N. I. (2017). Penerapan Min Plus Algebra Pada Penentuan Rute Tercepat Distribusi Susu. *Limits: Journal of Mathematics and Its Applications*, 14(2), 103–112.
- Toth, P., & Vigo, D. (2014). *Vehicle Routing: Problems, Methods, and Applications, Second Edition*. Society for Industrial and Applied Mathematics. <https://doi.org/10.1137/1.9781611973594.fm>