



Optimasi Rute Distribusi Oksigen Cair dalam Situasi Permintaan yang Berisiko Berubah Setelah Armada Berangkat Menuju Agen

Optimization of Liquid Oxygen Distribution Routes in Demand Conditions at Risk of Change After the Fleet Departs for the Agents

Tuti Sarma Sinaga^{1*}, Andreas Pandapotan²

¹Program Studi Teknik Industri, Fakultas Teknik, Universitas Sumatera Utara

²Program Studi Teknik Industri, Fakultas Teknik, Universitas Sumatera Utara

ARTICLE INFO

Article history:

Diterima 01-12-24

Diperbaiki 01-10-25

Disetujui 25-10-25

Kata Kunci:

Optimasi rute, distribusi produk, quantity transfer, mix integer linier programming, guided local search

ABSTRAK

Studi ini membahas perutean untuk distribusi produk oksigen cair dari pabrik menuju agen dengan mempertimbangkan risiko terjadinya perubahan permintaan oksigen cair ketika armada telah meninggalkan lokasi pabrik. Penanganan persediaan oksigen cair membutuhkan pengawasan yang ketat, areal penyimpanan yang luas serta ongkos simpan yang tinggi. Ketidakpastian kebutuhan oksigen cair di tingkat agen serta alasan penanganan persediaan menjadi alasan bagi agen melakukan perubahan permintaan secara mendadak. Kondisi ini menyebabkan jumlah *quantity* transfer ke agen tidak sesuai dengan jumlah oksigen cair yang diangkut armada dari pabrik. Apabila perubahan jumlah permintaan menjadi menurun maka armada harus membawa kembali oksigen cair yang masih tersisa ke pabrik, namun apabila perubahannya menjadi meningkat maka akan mempengaruhi kemampuan armada memenuhi jumlah *quantity liquid* yang diminta oleh *agen* berikutnya. Selanjutnya dikembangkan model penentuan rute armada yang mempertimbangkan probabilitas terjadinya perubahan permintaan setelah armada berangkat dari pabrik. Pencarian solusi rute optimal model ini menggunakan algoritma *guided local search*. Hasil penelitian menunjukkan terjadi peningkatan *quantity* transfer kendaraan yaitu sebesar 4,23% dari rute sebelumnya.

ABSTRACT

This study addresses vehicle routing to distribute liquid oxygen products from the factory to the agent by considering the risk of changes in liquid oxygen demand when the vehicle leaves the factory. Handling liquid oxygen inventory requires strict service, large storage areas and high storage costs. The uncertainty of liquid oxygen demand at the consumer level and inventory handling make agents change demand suddenly. This condition causes the quantity transferred to the agent not to match the amount of liquid oxygen transported by the fleet from the factory. If the change in demand decreases, the fleet must return the remaining liquid oxygen to the factory. Still, if the change increases, it will affect the vehicle's ability to meet the liquid quantity requested by the next agent. Furthermore, a vehicle routing model is developed that considers the possibility of changes in demand after the vehicle departs from the factory. The search for the optimal route solution for this model uses a guided local search algorithm. The study results showed an increase in vehicle transfer quantity of 4.23% from the previous route.

Keywords:

Route optimization, product distribution, quantity transfer, mix integer linier programming, guided local search

1. Pendahuluan

Manajemen logistik dan rantai pasok memainkan peran penting dalam tindakan penyediaan dan pendistribusian produk untuk menjamin kualitas layanan kepada agen. Kinerja sebuah sistem logistik dan SCM dapat dilihat dari kemampuan pemenuhan standar layanan yang dipersyaratkan pelanggan, pengiriman produk yang efektif dan efisien, proses integrasi dan kordinasi antar entitas serta kecepatan dan ketepatan informasi di sepanjang rantai pasokan [1]. Aktivitas rantai pasok terdiri dari aktivitas pengadaan, produksi, penyimpanan, pengendalian persediaan dan pendistribusian produk. Jaringan rantai pasok terdiri beberapa entitas seperti pemasok, produsen, distributor dan agen dan melakukan aktivitas logistik sesuai dengan fungsi masing-masing di dalam organisasi sehingga menimbulkan tantangan dalam pengelolaan rantai pasok untuk menciptakan koordinasi dan kolaborasi antar entitas yang efektif [2]. Arus logistik barang, penumpang, dan informasi dari titik asal menuju titik tujuan biasanya memiliki interkoneksi yang kompleks sehingga membutuhkan pengaturan ulang lokasi dan penggabungan aliran lalu lintas agar dapat meminimasi biaya transportasi [3]. Pengaturan arus barang dengan baik akan mendorong terciptanya efisiensi sekaligus menjamin keberlanjutan operasional pabrik.

Kebutuhan oksigen cair di Indonesia saat ini telah mengalami perkembangan yang pesat dari tahun ke tahun. Kapasitas produksi oksigen cair pertahunnya mencapai 866.000 ton/tahun, yang digunakan untuk industri dan kebutuhan medis. Isu distribusi oksigen cair yang dihadapi saat ini adalah kurang liquidnya proses pengisian oksigen ke dalam tabung dan ketidakpastian kebutuhan oksigen cair dari para pengguna. Tidak jarang Agen merubah jumlah pesanan oksigen cari ke pabrik secara mendadak untuk merespon ketidakpastian permintaan pelanggan dan tak jarang informasi perubahan itu ini dilakukan setelah armada angkut berangkat dari pabrik menuju lokasi agen.

Kondisi ini dapat menyebabkan kapasitas tangki armada angkut tidak efisien, dan dapat pula menyebabkan *quantity transfer* tidak sesuai dengan jumlah *liquid* yang diangkut armada dari pabrik. Apabila jumlah pesanan agen mengalami penurunan maka armada membawa kembali *liquid* yang masih tersisa ke pabrik. Namun, apabila perubahan jumlah pesanan mengalami peningkatan maka armada tidak mampu memenuhi jumlah *quantity liquid* yang dipesan oleh *agen* berikutnya. Selain itu, rute keberangkatan armada angkut hanya mempertimbangkan prioritas kedatangan permintaan dari para agen. Kondisi ini tentu saja dapat menyebabkan tingginya biaya distribusi oksigen cair.

Saat ini Pabrik berkeinginan meningkatkan *quantity transfer* oksigen mendekati 100% dan meminimasi jarak tempuh armada angkut sehingga dapat menekan ongkos angkut tapi tetap memperhatikan kapasitas dan jam operasional armada. Hal ini penting untuk diperhatikan agar proses pendistribusian barang dapat dilakukan secara efektif dan efisien sehingga keuntungan pabrik meningkat. Permasalahan rute pendistribusian dapat diselesaikan dengan model VRP, yaitu sebuah langkah optimasi kombinatorial dan pemrograman bilangan integer yang merancang kumpulan rute optimal yang harus dilalui armada armada untuk dikirim ke sekumpulan pelanggan tertentu [4]. Rute transportasi

merupakan jaringan terhubung searah dari pabrik ke agen terpilih dan kembali ke pabrik saat armada selesai menyelesaikan pengiriman. Kerangka kerja algoritmik berbasis pemrograman matematika diusulkan untuk mengintegrasikan keputusan strategis perencanaan lokasi dengan keputusan taktis perutean dan sinkronisasi armada [5]. Pengaturan rute dilakukan untuk meminimumkan total jarak dan waktu tempuh perjalanan, serta meminimalkan jumlah kendaraan yang beroperasi [6], sedangkan pengaturan alokasi produk perlu diatur sehingga berdampak terhadap optimasi biaya pendistribusian [7].

Lee dkk [8] mengembangkan model VRP dengan tujuan mengoptimasi rute pendistribusian produk pada industri pemasok oksigen yang mempertimbangkan armada dan waktu tempuh armada dalam bentuk *Mixed Integer Linear Programming* (MILP). Model ini berhasil mengoptimasi pemanfaatan kapasitas transportasi secara signifikan, dan menunjukkan peningkatan antara 3 % hingga 46 % [8]. Namun penelitian tersebut belum mempertimbangkan adanya kemungkinan perubahan pesanan dari agen saat armada telah berangkat dari Pabrik, padahal kondisi tersebut akan mengganggu operasional pabrik akibat faktor *quantity transfer* dan tingkat layanan pelanggan dari jaringan rantai pasok oksigen cair. Kondisi ini yang menyebabkan penting pengembangan model distribusi oksigen cair dengan mempertimbangkan perubahan permintaan pada saat armada pengiriman meninggalkan pabrik sekaligus meminimasi ongkos transportasi pendistribusian oksigen cair dari pabrik ke agen.

2. Metode Penelitian

Keputusan model MILP disusun bertujuan untuk menyelesaikan permasalahan minimasi ongkos transportasi oksigen cair dari pabrik menuju agen dengan menambahkan batasan peluang terjadinya perubahan permintaan dari agen dan *quantity transfer* oksigen cair. Tahap penelitian dimulai dari pendefinisian notasi, indeks dan parameter, dilanjutkan dengan penyusunan fungsi tujuan dan pembatas. Uji coba model ini dilakukan untuk salah satu pabrik yang dimiliki sebuah perusahaan pemasok gas industri di Indonesia yang berlokasi di Medan. Posisi agen berada di beberapa kota kabupaten di provinsi, Sumatera Utara, Indonesia. Indeks yang digunakan sebagai berikut:

i	: pabrik produksi
k	: agen, $k \in K$ ($k = 1, 2, \dots, 87$)
t	: periode waktu
v	: kendaraan $v \in V$ ($v = 1, 2, \dots, 6$)

Notasi pada formulasi matematis yang digunakan adalah sebagai berikut:

C_v	: satuan ongkos transportasi dari armada v (Rp/km)
U_v	: kapasitas armada v (m^3), di mana $v = \{1, 2, \dots, V\}$
D_{kt}	: permintaan produk dari agen k pada periode waktu t (m^3 /jam)
I_i^{ini}	: Level awal persediaan pada pabrik i (m^3)
I_i^{max}	: Level maksimum persediaan pada pabrik i (m^3)
I_i^{min}	: Level minimum persediaan pada pabrik i (m^3)
L_{ik}	: jarak pulang pergi antara pabrik i dan agen k (km)
P_i^{max}	: kapasitas produksi pada pabrik i pada tiap periode waktu (m^3)

- α^{LT} : waktu pemuatan tetap (jam)
 α^{UT} : waktu bongkar tetap (jam)
 γ_i : waktu pemuatan variabel pada pabrik i (m^3/jam)
 β_v : waktu bongkar variabel armada v (m^3/jam)
 Δ_t : rentang waktu periode t (jam)
 θ_{ik} : durasi perjalanan pulang pergi antara pabrik i dan agen k (jam)
 n, n' : titik eselon (i dan k), dimana 0 mewakili rute titik pabrik
 N^c : kumpulan titik agen
 N_v : Kumpulan titik yang dapat dikunjungi oleh armada v
 N_v^c : kumpulan titik agen yang dapat dikunjungi dengan armada v
 γ : waktu pemuatan di *node* pabrik
 $\theta_{nn'}$: waktu perjalanan dari n ke titik n' (jam)
 τ_v : batas waktu pengoperasian untuk armada v pada tiap periode waktu (jam)
 $L_{nn'}$: jarak antara titik n dan n' (km)
 E_{vrn} : 1 jika kendaraan v mengunjungi titik n pada rute r ; 0 sebaliknya
 $X_{vrnn'}$: 1 jika kendaraan v bergerak dari titik n ke titik n' pada rute r ; 0 sebaliknya
 $P(\Delta Q_{ikvt})$: peluang terjadinya perubahan permintaan di tingkat agen k oleh armada v selama periode waktu t
 Q_{ikvt} : jumlah permintaan di lapangan untuk setiap agen- k
 TT : total ongkos transportasi (Rp)
 AQ_{vrn} : Akumulasi jumlah produk yang dikirim sebelum mengunjungi titik n pada rute r (m^3)
 $E(\Delta Q_{ikvt})$: perubahan permintaan di tingkat agen k oleh armada v selama periode waktu t
 $f(\Delta Q_{ikvt})$: *probability density function* terjadinya perubahan permintaan di tingkat agen k oleh armada v selama periode waktu t

A_{ikvt} merupakan variabel bilangan bulat jumlah pengiriman dari pabrik i ke agen k dieksekusi oleh armada v selama periode waktu t , sedangkan variabel binernya terdiri dari E_{vrn} , $X_{vrnn'}$, berkaitan dengan kunjungan armada pada setiap rute terbentuk, sedangkan I_{it} , I_{kt} , P_{it} , Q_{ikvt} berkaitan dengan persediaan, produksi pabrik dan jumlah produk yang diangkut armada angkut.

2.1. Formulasi Model MILP

Tujuan dari permasalahan ini adalah untuk meminimasi total ongkos transportasi dari rantai pasok oksigen cair.

$$TT = \sum_{i \in I} \sum_{k \in K_{iv}} \sum_{v \in V_i} \sum_{t \in T} C_v \cdot L_{ik} \cdot A_{ikvt} \cdot (Q_{ikvt} + E(\Delta Q_{ikvt})) + \sum_{v \in V} \sum_{r \in R} \sum_{n \in N_v} \sum_{n' \in N_v} C_v \cdot L_{nn'} \cdot X_{vrnn'} \cdot (Q_{nn'vt} + E(\Delta Q_{nn'vt})) \quad (1)$$

Pembatas-pembatas yang digunakan dalam penelitian dapat dilihat sebagai berikut:

1. Pembatas kapasitas produksi di level pabrik adalah sejumlah Q unit produk diangkut oleh kendaraan v dari pabrik- i menuju agen- k selama periode waktu- t (jam) tidak melebihi atau sama dengan tingkat produksi sebesar P_{it} (m^3/jam)

$$\sum_v Q_{ikvt} \leq P_{it} \cdot \Delta_t \quad \forall i \in I, v \in V_i, k \in K_{iv}, t \in T \quad (2)$$

2. Pembatas jumlah produk yang dikirim oleh armada ke- v dari pabrik- i menuju agen- k adalah jumlah produk yang diangkut sebesar Q_{ikvt} harus kurang dari atau sama dengan banyaknya pengiriman sejumlah A_{ikvt} dikali dengan kapasitas kendaraan sebesar U_v (m^3)

$$Q_{ikvt} \leq U_v \cdot A_{ikvt} \quad \forall i \in I, v \in V, k \in K, t \in T \quad (3)$$

3. Pembatas waktu pengoperasian armada merupakan waktu tempuh antar lokasi (θ_{ik}), waktu bongkar muat tetap di pabrik (α^{it}) (jam), waktu bongkar muat tetap di konsumen (α^{kt}) (jam), dan waktu bongkar muat variabel tergantung kuantitas. Di sini, waktu pemuatan yang dibutuhkan (γ_i) pada level pabrik, sedangkan waktu pemuatan satuan (β_v) dibutuhkan pada level kendaraan. Total waktu pengoperasian kendaraan- v selama periode waktu- t tidak boleh melebihi lamanya setiap periode waktu (Δ_t) (jam)

$$\sum_{k \in K_{iv}} (\theta_{ik} + \alpha^{it} + \alpha^{kt}) A_{ikvt} + \sum_{k \in K_{iv}} (\beta_v \cdot Q_{ikvt} + \gamma_i \cdot Q_{ikvt}) \leq \Delta_t \quad \forall i \in I, v \in V_i, t \in T \quad (4)$$

4. Pembatas jumlah kunjungan untuk setiap titik agen adalah setiap titik agen harus dikunjungi tepat satu kali yang disimbolkan dengan variabel biner E_{vrn} ,

$$\sum_{v: n \in N_v^c} \sum_{r \in R} E_{vrn} = 1 \quad \forall n \in K^c \quad (5)$$

5. Pembatas penugasan truk truk adalah paling banyak satu keberangkatan dari pabrik yang dsimbolkan dengan variabel biner $X_{vr0n'}$ dan satu kedatangan ke pabrik, yang dsimbolkan dengan variabel biner X_{vrn0}

$$\sum_{n' \in K_v} X_{vr0n'} \leq 1 \quad \forall v \in V, r \in R \quad (6)$$

$$\sum_{n \in K_v} X_{vrn0} \leq 1 \quad \forall v \in V, r \in R \quad (7)$$

6. Pembatas integritas perjalanan adalah terdapat tepat satu preseden dan titik berikutnya jika titik agen n dikunjungi oleh kendaraan v pada rute r

$$\sum_{n' \in N_v} X_{vrnn'} = \sum_{n' \in N_v} X_{vrn'n} = E_{vrn} \quad \forall v \in V, r \in R, n \in K_v^c \quad (8)$$

7. Pembatas waktu pengoperasian untuk setiap armada

$$\sum_{r \in R} \sum_{n \in N_v} \sum_{n' \in N_v} \theta_{nn'} \cdot X_{vrnn'} + \sum_{r \in R} \sum_{n \in K_v^c} (\alpha^{UT} + \beta_v \cdot D_n^{new}) E_{vrn} + \sum_{r \in R} \sum_{n \in K_v^c} (\alpha^{LT} \cdot X_{vr0n} + \gamma D_n^{new} \cdot E_{vrn}) \leq \tau_v \quad \forall v \in V \quad (9)$$

8. Pembatas kapasitas angkut armada adalah AQ_{vrn} menunjukkan jumlah produk kumulatif yang dikirimkan oleh kendaraan v pada rute r sebelum melayani titik konsumen n dan pembatas penghilangan sub-tur

$$AQ_{vrn} + D_n^{new} \leq AQ_{vrn'} + U_v (1 - X_{vrnn'}) \quad \forall v \in V, r \in R, n \in K_v^c, n' \in N_v \quad (10)$$

$$AQ_{vrn} \leq U_v \quad \forall v \in V, r \in R, n \in N_v \quad (11)$$

9. Pembatas probabilitas terjadinya perubahan permintaan adalah jumlah permintaan di lapangan sebesar Q_{ikvt} dikali dengan variabel biner X_{vrnn} dan perubahan permintaan sebesar $E(\Delta Q_{ikvt})$ lebih kecil dari jumlah produk diangkut dari pabrik sebesar Q_{ikvt}

$$\sum_{k \in K} Q_{ikvt} \cdot X_{vrnn} \cdot E(\Delta Q_{ikvt}) < \sum_{k \in K} Q_{ikvt} \quad (12)$$

10. Pembatas jumlah permintaan akhir adalah variabel biner X_{vrnn} , dikali jumlah permintaan di lapangan sebesar Q_{ikvt} (m^3) harus lebih kecil sama dengan dari kapasitas truk sebesar U_v (m^3), seperti ditunjukkan pada Persamaan (13).

$$\sum_{n \in N} X_{vrnn} \cdot Q_{ikvt} \leq U_v \quad \forall n \in N, v \in V_i, \forall k \in K \quad (13)$$

Formulasi model matematis yang telah dibuat diimplementasikan pada *script* pemrograman dengan menggunakan *algoritma guided local search* untuk membantu penentuan rute distribusi. Pencarian lokal terpandu atau *Guided Local Search* (GLS) adalah teknik berbasis memori yang sebanding dengan pencarian tabu. Namun, metode ini bekerja dengan menambahkan istilah penalti ke fungsi biaya berdasarkan seberapa dekat pencarian GLS dengan salah satu metode metaheuristic. *Script* pemrograman tersebut dijalankan pada *software* komputasi.

Dalam melakukan optimasi rute distribusi dengan mempertimbangkan terjadinya probabilitas perubahan permintaan pada saat pengiriman menggunakan algoritma metaheuristic *guided local search* dengan langkah-langkah sebagai berikut:

1. Masukkan data-data seperti, jumlah Agen, jarak antar pabrik dengan agen dan antar agen, batasan waktu, kapasitas kendaraan dan probabilitas perubahan permintaan setiap agen
2. Tetapkan parameter algoritma GLS
3. Evaluasi solusi awal yang ditemukan dan ulangi proses GLS hingga memenuhi semua batasan-batasan MILP yang telah ditetapkan
4. Memilih total biaya dan beban angkut yang optimal

3. Hasil dan Pembahasan

Pengujian model dilakukan untuk memenuhi permintaan harian dari para agen dalam kurun waktu seminggu. Terdapat 6 armada jenis truk tangki yang dialokasikan pabrik per harinya untuk mendistribusikan produk dengan kapasitas berbeda. Setiap armada diperbolehkan menempuh lebih dari satu rute namun rute tersebut harus dapat diselesaikan dalam sehari. Tabel 1 menunjukkan rute armada angkut yang terbentuk untuk hari pertama dan Tabel 2 merupakan rekapitulasi jarak tempuh, jarak setiap trip, dan total beban angkut oksigen cair armada yang beroperasi pada hari pertama.

Tabel 1.

Perbandingan Rute Aktual pada Hari Pertama dengan Hasil Optimasi

Armada	Trip	Rute Aktual	Jarak (Km)	Total Beban Angkut (m^3)	Rute Hasil Optimasi	Jarak (Km)	Total Beban Angkut (m^3)
V ₁	1	$I > A_1 > A_2 > A_3 > I$	116	9.390	$I > A_1 > A_3 > I$	56	4.617,00
V ₂	1	$I > A_4 > A_5 > I$		4.000	$I > A_2 > A_4 > A_5 > I$	85,6	8.797,76
	2	$I > A_6 > I$	32	10.000	$I > A_7 > I$	32	8.847,50
V ₃	1	$I > A_7 > I$	32	9.390	$I > A_6 > I$	32	6.830,92
	2	$I > A_8 > A_9 > I$	53,4	4.000	$I > A_8 > A_9 > I$	53,4	5.807,83
V ₄	1	$I > A_{10} > I$	24	4.000	$I > A_{10} > I$	24	2.281,75
	2	$I > A_{11} > I$	50	5.000	$I > A_{11} > I$	50	8.832,08
	3				$I > A_{13} > A_{14} > A_{12} > I$	284,8	7.784,92
V ₅	1	$I > A_{12} > A_{13} > A_{14} > I$	388,7	9.390	$I > A_{15} > A_{16} > I$	110,2	2.023,00
V ₆	1	$I > A_{15} > A_{16} > I$	110,2	4.000	$I > A_{17} > A_{18} > A_{19} > I$	68,8	2.915,08
	2	$I > A_{17} > A_{18} > A_{19} > I$	68,8	3.354			
Total Angkut				52.810			58.735
Total Jarak Tempuh				950,1		796,8	
Total Ongkos Transportasi (Rp)				3.020.236			2.800.277

Tabel 2.

Rekapitulasi Hasil Pengujian Model Penentuan Rute Transportasi Oksigen Cair Hari Pertama

Armada	Hari Pertama
1	Rute untuk trip 1 = 0-1-2-0 Total jarak untuk trip 1 = 56,0 km Total oksigen cair yang ditransfer = 4617,00 m^3 Trip 1 = 4617,00 m^3 Estimasi oksigen cair per Agen: Trip 1 = Agen 1 = 2350,33 m^3 ; Agen 2 = 2266,67 m^3 Biaya perjalanan = Rp 296.024
2	Rute untuk Trip 1 = 0-3-4-5-0 Total jarak untuk trip 1: 85,6 km Rute untuk Trip 2: 0 7 0 Total jarak untuk trip 2: 32,0 km Total oksigen cair yang Ditransfer = 17645,25 m^3 Trip 1 = 8797,75 m^3 Trip 2 = 8847,50 m^3 Estimasi oksigen cair per Agen untuk Truk V ₂ : Trip 1 = Agen 3 = 1242,92 m^3 ; Agen 4: 2732,67 m^3 Agen 5 = 4822,17 m^3 Trip 2 = Agen 7: 8847,50 m^3 Biaya perjalanan = Rp 445.650
3	Rute untuk trip 1 = 0-6-0 Total jarak untuk Trip 1 = 32,0 km Rute untuk trip 2 = 0-8-9-0 Total jarak untuk trip 2 = 53,4 km Estimasi oksigen cair per Agen Trip 1 = Agen 6: 6830,92 m^3 Trip 2 = Agen 8 = 2871,25 m^3 ; Agen 9 = 2936,58 m^3 Biaya perjalanan = Rp 367.436
4	Rute untuk trip 1 = 0-0-0 Total jarak untuk trip 1 = 24,0 km Rute untuk trip 2 = 0-1-1-0 Total jarak untuk Trip 2 = 50,0 km Rute untuk trip 3 = 0-13-14-12-0 Total jarak untuk trip 3 = 284,8 km Estimasi oksigen cair yang ditransfer = 18902,67 m^3 Trip 1 = Agen 10 = 2281,75 m^3 Trip 2 = Agen 11 = 8836,00 m^3

5	Trip 3 = Agen 13 = 2158,42 m ³ ; Agen 14 = 4659,83 m ³ ; Agen 12 = 966,67 m ³ Biaya perjalanan = Rp 1.031.525	
	Rute untuk trip 1 = 0-15-16-0 Total jarak untuk trip 1: 110,2 km Total oksigen cair yang ditransfer = 2023,00 m ³ Trip 1: 2023,00 m ³ Trip 1: Agen 15 = 1027,42 m ³ ; Agen 16: 995,58 m ³ Biaya perjalanan = Rp 427.6758	
	Rute untuk Trip 1 = 0-17-18-19-0 Total Jarak untuk Trip 1 = 68,8 km Trip 1 = 2912,08 m ³ Estimasi oksigen cair per Agen: Trip 1: Agen 17 = 672,75 m ³ ; Agen 18 = 1167,50 m ³ ; Agen 19 = 1071,83 m ³ Biaya perjalanan = Rp 231.964	

Proses pengujian rute armada angkut harian menghasilkan jumlah rute yang terbentuk setiap harinya dan kendaraan yang beroperasi setiap harinya berbeda, seperti yang terlihat pada Tabel 3. Permintaan dalam jumlah besar cenderung menggunakan armada yang memiliki daya angkut besar, tetapi tetap memperhatikan jarak tempuh armada pada setiap rute dan jarak tempuh tersebut dipastikan dapat diselesaikan dalam harian.

Tabel 3.
Hasil Optimasi Jumlah Rute Harian dan Kendaraan Beroperasi

Hari	Jumlah Rute	Jumlah kendaraan beroperasi (unit)
1	10	6
2	8	6
3	8	6
4	5	5
5	7	6
6	6	5
7	9	6

Selanjutnya dilakukan perbandingan jarak tempuh, total oksigen cair yang diangkut dan biaya perjalanan antara rute aktual yang ditempuh armada dengan hasil pengujian model. Sebagai contoh; total jarak tempuh seluruh armada yang beroperasi pada hari ke-1 mencapai 796,8 Km, yang berarti lebih pendek 16,14% dari jarak tempuh rute aktualnya. Quantity transfer armada transportasi pada hari ke-1 meningkat sebesar 11,22% dengan penghematan total biaya perjalanan mencapai 7,28% dibandingkan dengan biaya aktualnya. Selain itu, model minimasi ongkos transportasi pendistribusian oksigen cair ini mampu meningkatkan total *quantity transfer* rata-rata dari armada yang digunakan sebesar 4,23% seperti terlihat pada Tabel 4.

Tabel 4.
Perbandingan Transfer *Liquid Oksigen* Sebelum dan Sesudah Optimasi

Armada	Rata-rata Pengiriman Aktual (m ³)	Rata-rata Pengiriman Optimasi (m ³)	Persentase Peningkatan Transfer
V ₁	6.715	6.763	0,02%
V ₂	6.941	7.009	0,67%
V ₃	6.695	6.987	3,41%
V ₄	7.090	7.569	4,61%
V ₅	5.739	5.833	1,12%
V ₆	2.003	2.534	15,55%
Rata-rata Persentase			4,23%

Hasil perbandingan total ongkos transportasi oksigen cair untuk 7 hari pabrik beroperasi berdasarkan model optimasi

dengan total ongkos aktualnya dapat dilihat pada Tabel 5. Total penurunan ongkos transportasi adalah sebesar 9,90% dibandingkan ongkos aktual.

Tabel 5.
Rekapitulasi Perbandingan Total Biaya Sebelum dan Sesudah Optimasi

Tanggal	Ongkos Aktual (Rp/Hari)	Ongkos Hasil Optimasi (Rp/Hari)	Persentase Penurunan Ongkos (%)
Hari ke-1	3.020.236	2.800.277	7,28%
Hari ke-2	3.872.110	3.512.180	9,30%
Hari ke-3	7.546.806	7.233.491	4,15%
Hari ke-4	2.983.969	2.532.489	15,13%
Hari ke-5	2.647.942	2.305.796	12,92%
Hari ke-6	1.767.457	1.377.520	22,06%
Hari ke-7	4.256.664	3.751.188	11,87%
Total	26.065.184	23.482.941	9,90%

Hasil perbandingan total jarak transportasi oksigen cair untuk 7 hari pabrik beroperasi berdasarkan model optimasi dengan total ongkos aktualnya dapat dilihat pada Tabel 6. Total penurunan jarak transportasi adalah sebesar 12,88%

Tabel 6.
Rekapitulasi Perbandingan Total Jarak Sebelum dan Sesudah Optimasi

Tanggal	Jarak Aktual (Km)	Jarak Hasil Optimasi (Km)	Persentase Penurunan (%)
Hari ke-1	950,1	796,8	16,14%
Hari ke-2	1.254,2	1.079,7	13,91%
Hari ke-3	2.817,7	2.675,9	5,03%
Hari ke-4	847,6	727,6	14,16%
Hari ke-5	777,3	612,3	21,23%
Hari ke-6	386,4	254,5	34,14%
Hari ke-7	1.403,5	1.203,2	14,27%
Total	8.436,8	7.350,0	12,88%

Hasil perbandingan beban angkut oksigen cair untuk 7 hari pabrik beroperasi berdasarkan model optimasi dengan permintaan akhir dapat dilihat pada Tabel 7.

Tabel 7.
Rekapitulasi Perbandingan Beban Angkut Sebelum dan Sesudah Optimasi

Tanggal	Beban Angkut Optimasi (m ³)	Permintaan Akhir (m ³)
Hari ke-1	58.735	58.535
Hari ke-2	40.669	35.387
Hari ke-3	48.557	47.697
Hari ke-4	23.193	22.269
Hari ke-5	35.311	33.130
Hari ke-6	23.066	22.532
Hari ke-7	45.931	44.341
Total	275.463	264.984

4. Kesimpulan

Model penentuan rute yang mempertimbangkan perubahan permintaan ini digunakan untuk optimasi rute dengan *multiple vehicle* dan *multiple trip* untuk memenuhi semua permintaan Agen yang cenderung berubah saat kendaraan telah berangkat meninggalkan lokasi pabrik dengan mempertimbangkan batasan yang kompleks, seperti kapasitas truk, waktu distribusi harian, dan probabilitas terjadinya perubahan permintaan agen. Model optimasi ini ternyata mampu meningkatkan *quantity transfer* rata-rata armada hingga 4,23% sekaligus menekan total ongkos transportasinya. Model

ini juga menjadi memperkecil oksigen cair dibawa kembali ke pabrik akibat permintaan yang berubah. Pada tahap selanjutnya, dilakukan pengembangan model yang mempertimbangkan faktor kemacetan yang dapat mengganggu waktu tempuh armada.

Referensi

- [1] Barbosa-Povoa, A.P dan J.M. Pinto. *Process supply chains: Perspectives from academia and industry*, Computers and Chemical Engineering Journal, 2020,132: pp. 1-15
- [2] Bilgen, B. *Application of Fuzzy Mathematical Programming Approach to the Production Allocation and Distribution Supply Chain Network Problem*. Expert Systems with Applications, 37(6), 2010: pp. 4488–4495
- [3] Karimi, Hossein. *The capacitated hub covering location-routing problem for simultaneous pickup and delivery systems*, Computers & Industrial Engineering, 2018,116: pp. 47–58
- [4] Pugliese, Luigi Di Puglia, Ferone, Daniele Ferone b, Giusy Macrina c, Paola Festa b, Francesca Guerriero. *The Crowd-Shipping with Penalty Cost Function and Uncertain Travel Times*, Omega 2023, 115: pp. 1 – 23
- [5] Junko Hosoda, Stephen J. Maher, Yuji Shinano, Jonas Christoffer Villumsen, *Location, Transshipment and Routing: An Adaptive Transportation Network Integrating Long-haul and Local Vehicle Routing*, Euro Journal on Transportation and Logistics, 2022, 11: pp. 1 – 14
- [6] Irawan, W., Manaqib, M., & Fitriyati, N. *Implementation of the Model Capacited Vehicle Routing Problem with Time Windows with a Goal Programming Approach in Determining the Best Route for Goods Distribution*. Jurnal Matematika, Statistika Dan Komputasi, 2020, 17(2): pp. 231–239
- [7] Fatma, E., & Manurung, S. *Optimasi Biaya Distribusi Multi-eselon untuk Multi-produk Menggunakan Mix Integer Linier Programming*. Jurnal Manajemen Transportasi & Logistik (JMTRANSLOG), 2021, 8(1): pp. 75-81
- [8] Lee, Y., Charitopoulos, V. M., Thyagarajan, K., Morris, I., Pinto, J. M., & Papageorgiou, L.G. *Location, Integrated Production and Inventory Routing Planning of Oxygen Supply Chains*, Chemical Engineering Research and Design, 2022, 186: pp. 97-111