

APLIKASI PENDEKATAN N-STAGE UNTUK MASALAH PENGRUTEAN DAN PENJADWALAN TRUK-TUNGGAL DI DAERAH KEPULAUAN (STUDI KASUS PADA KOPERASI UNIT BERSAMA NEGERI BOOI, SAPARUA)

Mohammad Thezar Afifudin¹⁾, Ariviana Lientje Kakerissa²⁾
e-mail: ¹⁾thezar.afifudin@fatek.unpatti.ac.id, ²⁾ariviana.kakerissa@fatek.unpatti.ac.id
Dosen Jurusan Teknik Industri, Fakultas Teknik, Universitas Pattimura Ambon

ABSTRAK

Penelitian ini bertujuan untuk menyelesaikan masalah pengrutean dan penjadwalan kendaraan yang dihadapi oleh Koperasi Unit Bersama Negeri Booi (KUB Booi) sebagai salah satu industri startup di Saparua, Maluku Tengah. Sebagai industri startup, distribusi direncanakan menggunakan truk-tunggal. Distribusi produk dihadapkan pada karakteristik kepulauan yang mengharuskan KUB Booi untuk memanfaatkan jasa transportasi publik feri. Saat ini, KUB Booi memiliki sejumlah pelanggan yang tersebar di dua pasar, yaitu Kota Ambon dan Kota Masohi. Selain itu, terdapat satu supplier dan satu mitra ekspedisi yang berlokasi di Kota Ambon. Untuk menentukan waktu perjalanan atau makespan yang minimum, maka kami menggunakan pendekatan n-stage untuk mengoptimisasi rute dan jadwal truk dan feri di setiap pelabuhan di setiap pulau. Pendekatan ini mengintegrasikan dua metode, yaitu pemrograman integer dan algoritma heuristik. Dengan pendekatan ini, minimum total waktu perjalanan yang diharapkan dapat ditentukan.

Kata kunci: *Pendekatan n-stage, Pengrutean dan Penjadwalan Truk-tunggal, Variasi Jadwal Feri, Pemrograman Integer, Algoritma Heuristik.*

PENDAHULUAN

Penggunaan dan pemanfaatan transportasi publik merupakan hal yang sering ditemukan bagi industri kecil atau startup di daerah kepulauan. Untuk mendistribusikan produknya ke pasar-pasar yang berbeda pulau, mereka sering menggunakan truk dan memanfaatkan transportasi publik ferry yang ada. Tidak tersedianya layanan dari 3PL dan minimnya modal, menyebabkan industri kecil atau startup tersebut cenderung memulai usahanya dengan mengadakan hanya sebuah truk untuk kegiatan distribusi. Tantangan terbesar mereka adalah bagaimana mempertemukan antara rute dan jadwal truk dan ferry di setiap port di setiap pulau dengan tujuan meminimasi makespan atau durasi.

Salah satu industri *startup* yang menghadapi masalah tersebut adalah koperasi unit bersama negeri Booi (KUB Booi) yang berlokasi di Saparua, Maluku Tengah. Dengan karakteristik medan yang berkepulauan, masalah distribusi yang dihadapi KUB Booi adalah bagaimana mempertemukan antara rute dan jadwal truk (tunggal) dengan rute dan jadwal feri agar total waktu perjalanan yang dihasilkan seminimal mungkin.

Masalah pengrutean dan penjadwalan kendaraan ini merupakan varian dari *time-dependent traveling salesman problem* (TDTSP) sebagaimana diklasifikasikan Gendreau *et al.* (2015). Dalam masalah ini, truk-tunggal ditugaskan untuk menyelesaikan sirkuit Hamiltonian, dimulai dari depot pada waktu t_0 , dimana setiap pulau hanya bisa dikunjungi hanya sekali. Dalam menyelesaikan

kunjungan ke pulau-pulau, truk harus memilih manakah pelabuhan feri yang akan dijadikan sebagai pelabuhan keberangkatan di setiap pulau dengan mempertimbangkan rute dan jadwal feri yang beroperasi. Untuk menyelesaikan masalah tersebut, maka pendekatan n-stage digunakan dengan mengintegrasikan *integer linear programming* (ILP) dengan algoritma heuristik. Pendekatan n-stage digunakan karena masalah ini digolongkan sebagai masalah *NP-hard*.

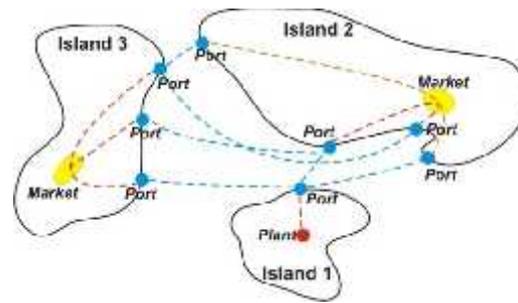
KAJIAN TEORI DAN METODE

Masalah pengrutean dan penjadwalan kendaraan dalam penelitian ini merupakan varian dari TDTSP sebagaimana diklasifikasikan Gendreau *et al.* (2015). TDTSP pertama kali diperkenalkan oleh Malandraki and Daskin (1992) yang menyelesaikannya dengan formulasi *mixed-integer linear programming* (MILP) dan beberapa heuristik sederhana. Dalam perkembangannya, Albiach *et al.* (2008) kemudian mentransformasikan TDTSP menjadi *Assymetric Generalized TSP* dan *Assymetric Graphical TSP* (AGTSP).

Kaitannya dengan pendekatan n-stage yang digunakan, Ioannou *et al.* (2008) menyelesaikan masalah penugasan kendaraan dimana tahap pertama menggunakan metode Hungarian dan tahapan kedua menggunakan pendekatan komposit 3-stage. Algoritma 3-stage dalam pendekatan komposit terdiri dari tahapan *decouple*, *select*, dan *impact* untuk menentukan solusi rute terbaik. Alvarez *et al.* (2014) menggunakan pendekatan n-stage untuk

menyelesaikan masalah penjadwalan produksi distribusi dinamis pada lingkup multi-agen. Masalah diformulasikan sebagai *dynamic vehicle routing problem with time windows and backhauls* (DVRP-TWB) dan diselesaikan dengan meta-heuristic 3 kombinatorial. Luo *et al.* (2015) menggunakan pendekatan 2-stage untuk menyelesaikan *multi-period vehicle routing problem with time windows and limited visiting quota* (MVRPTW-LVQ). Pertama masalah diformulasikan menggunakan MILP dan kemudian diselesaikan dengan heuristik 3-stage. Comert *et al.* (2017) menggunakan pendekatan 2-stage untuk menyelesaikan masalah pengrutean kendaraan pada rantai pasok supermarket. Pertama, kostumer dikelompokkan menggunakan metode *clustering*, kemudian rute kendaraan diselesaikan formulasi MILP. Neves-Moreira *et al.* (2018) menggunakan pendekatan 2-stage untuk menyelesaikan *time window assignment vehicle routing problem* (TWA-VRP), dimana *time windows* didefinisikan untuk segmen multipel-produk. Pertama, masalah diformulasikan sebagai masalah penugasan produk, kemudian diselesaikan dengan penjadwalan pengiriman pada tahap kedua. Dondo & Cerdá (2007) menggunakan pendekatan 3-stage untuk menyelesaikan masalah pengrutean dan penjadwalan kendaraan. Pertama, melakukan identifikasi *cluster* terhadap lokasi-lokasi sedangkan tahap kedua penugasan kendaraan berdasarkan *cluster*. Tahap 3, menyelesaikan masalah penjadwalan dari rute yang telah ditentukan untuk setiap *cluster*.

Dalam penelitian ini, tahapan dari pendekatan yang digunakan pada prinsipnya sama dengan yang dilakukan oleh Dondo & Cerdá (2007). Pada tahapan pertama, *clustering* akan dilakukan terhadap lokasi-lokasi berdasarkan pada keberadaannya di pulau. Kedua, setiap *cluster* akan ditentukan rute optimalnya terhadap pelabuhan kedatangan dan keberangkatan di setiap pulau menggunakan integrasi formulasi ILP Miller *et al.* (1960) dan Desrochers & Laporte (1991). Tahap ketiga, masalah akan diselesaikan dengan menggunakan algoritma heuristik untuk menyelesaikan masalah pengrutean dan jadwal truk terhadap rute dan jadwal feri secara keseluruhan. Sistem masalah dalam penelitian ini dapat digrafiskan seperti pada gambar 1.



Gambar 1. Sistem masalah pengrutean dan penjadwalan truk pada KUB Booi

Model formulasi Miller *et al.* (1960) dan Desrochers & Laporte (1992) yang digunakan untuk mengoptimalkan pengrutean truk pada tahapan dua sebagai berikut:

Set:

V = Set lokasi (verteks)

Data atau Variabel input:

c_{ij} = Waktu perjalanan dari lokasi i ke lokasi j .

N = Jumlah lokasi

Variabel keputusan:

$x_{ij} = \begin{cases} 1, & \text{jika perjalanan dari lokasi } i \text{ ke } j \text{ dilakukan} \\ 0, & \text{jika tidak} \end{cases}$

u_i = Akumulasi load setelah mengunjungi lokasi i

Formula matematis:

$$\text{Minimasi } \sum_{i \in V} \sum_{j \in V} c_{ij} x_{ij} \quad \dots \quad (1)$$

$$\sum_{i \in V} x_{ij} = 1 \quad ; \forall i \in V, i \neq j \quad \dots \quad (2)$$

$$\sum_{j \in V} x_{ij} = 1 \quad ; \forall j \in V, i \neq j \quad \dots \quad (3)$$

$$u_i - u_j + (N-1)x_{ij} + (N-3)x_{ji} \leq (N-2) \quad ; \forall i, j \in V \setminus \{0\}, i \neq j \quad \dots \quad (4)$$

$$1 \leq u_i \leq N-1 \quad ; \forall i \in V \setminus \{0\} \quad \dots \quad (5)$$

$$x_{ij} \in \{0, 1\} \quad ; \forall i, j \in V \quad \dots \quad (6)$$

Persamaan 1 merupakan formulasi untuk tujuan meminimasi waktu. Persamaan 2 dan 3 menyatakan bahwa setiap lokasi hanya dapat dikunjungi sekali. Persamaan 4 dan 5 untuk menghilangkan subtur dengan menggantikannya dengan variabel akumulasi u . Persamaan 6 menyatakan variabel keputusan x_{ij} berupa nilai *binary* (0 atau 1).

Untuk mengoptimisasi pengrutean dan penjadwalan truk pada tahapan ketiga, kami mengembangkan algoritma heuristik sebagai berikut:

Step 1: *Start* dari pulau pertama.

Step 2: *Sort* rute feri antar pelabuhan yang memungkinkan.

- Step 3: *Determine* pelabuhan keberangkatan dan kedatangan di setiap pulau sesuai rute yang memungkinkan.
- Step 4: *Find* jadwal keberangkatan feri di setiap pelabuhan yang ditentukan.
- Step 5: *Compute* selisih antar jadwal keberangkatan feri di pulau tersebut dan di pulau sebelumnya (S).
- Step 6: *Compute* waktu untuk menyelesaikan perjalanan ke setiap pulau (T), dimulai dari pelabuhan keberangkatan di pulau sebelumnya sampai pada pelabuhan keberangkatan di pulau tersebut. Jika $T \geq S$, *Save T*.
- Step 7: *Repeat* step 4-6. Jika $T < T_0$, *Save T*.
- Step 8: *Compute* total waktu (M) dimulai dari jadwal keberangkatan feri di pulau terakhir ditambah waktu perjalanan darat di pulau pertama. *Save M*.
- Step 9: *Repeat* step 3-8. Jika $M < M_0$, *Save M*.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Penyelesaian masalah pengrutean truk ini menggunakan pendekatan n-stage (n-tahapan). Pendekatan ini digunakan karena masing-masing pasar memiliki karakteristik masalah yang berbeda. Tahapan-tahapannya yang digunakan dalam pendekatan sebagai berikut:

Tahapan 1: Clustering

Saat ini, KUB Booi memiliki 1 supplier sebagai pemasok material produk, 1 mitra ekspedisi (3PL) sebagai *carrier* material kemasan dan packaging dari supplier di luar wilayah (Jawa Timur), dan 16 pelanggan. Supplier material, mitra ekspedisi, dan 8 pelanggan berlokasi di Kota Ambon (Pulau Ambon), sedangkan 8 pelanggan lainnya berlokasi di Kota Masohi (lihat tabel 1). Ketersebaran lokasi dan data pelanggan, ekspedisi, dan supplier material produk masing-masing dapat dilihat pada gambar 2.

Tabel 1. Supplier, Mitra Ekspedisi, dan Pelanggan KBU

Kota Ambon			
No	Inisial	Fungsi	Alamat
1	ME	Mitra Ekspedisi	Uritetu, Sirimau
2	LDA	Supplier	Passo, Baguala
3	TOG	Pelanggan	Ahusen, Sirimau
4	SJM	Pelanggan	Waiyame, Tlk.Ambon
5	SAL	Pelanggan	Rijali, Sirimau
6	HRN	Pelanggan	Latta, Baguala
7	RSM	Pelanggan	Halong, Baguala
8	RIL	Pelanggan	Rumah Tiga, Tlk.Ambon
9	RRG	Pelanggan	Ahusen, Sirimau
10	RMD	Pelanggan	Silale, Nusaniwe

Kota Masohi			
No	Inisial	Fungsi	Alamat
1	RJL	Pelanggan	Namaelo, Masohi
2	RAN	Pelanggan	Namaelo, Masohi
3	RRM	Pelanggan	Ampera, Masohi
4	RBK	Pelanggan	Ampera, Masohi
5	RDN	Pelanggan	Namaelo, Masohi
6	RUB	Pelanggan	Letwaru, Masohi
7	STB	Pelanggan	Namaelo, Masohi
8	SJR	Pelanggan	Makariki, Masohi

Untuk mendukung kegiatan distribusinya, maka koperasi memanfaatkan jasa transportasi feri. Saat ini, pelabuhan feri yang menghubungkan pulau Saparua dengan pulau-pulau lain hanya 1, yaitu pelabuhan Umeputih. Di pulau Ambon terdapat dua pelabuhan, yaitu Waai dan Hunimua, sedangkan di pulau Seram terdapat empat pelabuhan yang terdekat yaitu, Amahai, Ina-Marina, Wailey, dan Waipirit. *Clustering* ditentukan berdasarkan keberadaannya lokasi-lokasi pelanggan, mitra ekspedisi, supplier, dan pelabuhan-pelabuhan di setiap pulau. Dari keberadaannya, maka medan distribusi dibagi menjadi tiga *cluster*, yaitu Ambon, Seram, dan Saparua. *Cluster* Ambon terdiri dari 8 pelanggan, 1 supplier, 1 mitra ekspedisi, dan 2 pelabuhan yang berada di Pulau Ambon. *Cluster* Seram terdiri dari 8 pelanggan dan 4 pelabuhan yang berada di Pulau Seram. Sedangkan *cluster* Saparua diwakili oleh lokasi koperasi dan satu pelabuhan yang berada di pulau Saparua.



Gambar 2. (a) Ketersebaran lokasi supplier, mitra ekspedisi, dan pelanggan di Kota Ambon, (b) Ketersebaran pelanggan di Kota Masohi.

Tahapan 2: Optimasi rute truk di *cluster* Ambon dan Seram

Untuk mengoptimalkan pengrutean kendaraan di *cluster* Ambon dan Seram, maka diperlukan data mengenai waktu antar lokasi pelanggan, mitra ekspedisi, dan supplier terhadap pelabuhan. Berdasarkan alamat (lihat tabel 1) dan dengan bantuan aplikasi google maps (<https://maps.google.com/>), maka waktu perjalanan antar lokasi pelanggan, mitra ekspedisi, supplier, dan pelabuhan-pelabuhan feri di Pulau Ambon dapat diestimasi seperti pada tabel 2. Sedangkan estimasi

waktu antar lokasi pelanggan dengan pelabuhan-pelabuhan feri terdekat di Pulau Seram dapat dilihat pada tabel 3. Waktu perjalanan antar lokasi diestimasi berdasarkan waktu rata-rata yang diambil sampelnya secara random di hari dan waktu berbeda. Dari data waktu yang didapat, model masalah kemudian diprogram menggunakan software Lingo (versi 9) sesuai model TSP Miller dkk. (1960) dan Desrochers dan Laporte (1992). Output waktu minimum perjalanan antar pelabuhan di setiap pulau menghasilkan 20 kemungkinan yang dapat dilihat pada tabel 4.

Tabel 2. Waktu perjalanan antar lokasi pelanggan, mitra ekspedisi, supplier di Kota Ambon dan pelabuhan-pelabuhan feri di Pulau Ambon (dalam satuan jam)

Waktu	PW	PH	ME	LDA	TOG	SJM	SAL	HRN	RSM	RIL	RRG	RMD
PW			0.81	1.22	0.83	0.84	1.06	1.54	1.23	0.86	0.80	0.78
PH			0.78	1.17	0.80	0.81	1.02	1.45	1.17	0.83	0.77	0.72
ME	0.82	0.79		2.44	33.33	3.03	3.61	1.69	2.46	3.26	37.50	16.67
LDA	1.22	1.17	2.36		2.38	2.34	7.32	5.26	176.47	2.50	2.29	2.07
TOG	0.81	0.79	18.75	2.31		2.83	3.37	1.62	2.33	3.06	40.00	16.67
SJM	0.84	0.81	2.88	2.36	2.91		1.79	1.78	2.33	37.50	2.78	2.46
SAL	1.06	1.02	3.45	7.32	3.53	2.26		3.16	7.69	2.40	3.33	2.88
HRN	1.54	1.45	1.65	5.26	1.66	1.76	3.16		5.36	1.85	1.61	1.51
RSM	1.23	1.17	2.38	176.47	2.40	2.31	7.69	5.36		2.46	2.31	2.10
RIL	0.86	0.83	3.13	2.50	3.16	37.50	2.38	1.85	2.48		3.00	2.63
RRG	0.81	0.78	20.00	2.33	75.00	2.86	3.37	1.63	2.31	3.09		23.08
RMD	0.81	0.75	21.43	2.33	25.00	2.86	3.41	1.64	2.36	3.09	37.50	

PW Pelabuhan Waai
PH Pelabuhan Hinimua

Tabel 3. Waktu perjalanan antar lokasi pelanggan di Kota Masohi dengan pelabuhan-pelabuhan feri terdekat di Pulau Seram (dalam satuan jam)

Waktu	PA	PM	PWL	PWP	RJL	RAN	RRM	RBK	RDN	RUB	STB	SJR
PA					5.00	4.51	4.64	4.38	5.25	3.81	4.00	2.32
PM					37.65	45.71	71.11	37.65	24.62	16.84	21.33	4.38
PWL					0.31	0.31	0.31	0.32	0.31	0.32	0.32	0.34
PWP					0.22	0.22	0.22	0.22	0.22	0.22	0.23	0.24
RJL	4.87	22.86	0.31	0.22		21.33	26.67	20.00	71.11	11.85	13.91	3.95
RAN	4.51	21.33	0.31	0.22	53.33		139.13	53.33	32.00	18.82	24.62	4.51
RRM	4.32	53.33	0.31	0.22	40.00	145.45		80.00	24.62	22.86	32.00	4.71
RBK	4.27	40.00	0.31	0.22	32.00	80.00	49.23		22.86	15.24	26.67	4.27
RDN	5.25	32.00	0.31	0.22	114.29	32.00	40.00	26.67		14.55	16.84	4.21
RUB	3.76	20.00	0.32	0.23	17.78	26.67	21.33	40.00	13.91		37.65	5.25
STB	3.86	21.33	0.32	0.23	18.82	29.09	24.62	45.71	14.55	26.67		4.85
SJR	2.25	4.38	0.34	0.24	4.27	4.64	4.44	4.92	4.00	5.61	4.92	

PA Pelabuhan Amahai
PM Pelabuhan InaMarina
PWL Pelabuhan Wailey
PWP Pelabuhan Waipiri

Tabel 4. Waktu minimum perjalanan antar pelabuhan

No	Kondisi	Rute	Waktu (jam)
1	Jika Pengiriman ke Kota Ambon mulai dari Pel. Waai kembali ke Pel. Waai	PW-HRN-LDA-RSM-SAL-TOG-RRG-RMD-ME-SJM-RIL-PW	2.71
2	Jika Pengiriman ke Kota Ambon mulai dari Pel. Waai kembali ke Pel. Hunimua	PW-LDA-RSM-SAL-TOG-RRG-RMD-ME-SJM-RIL-HRN-PH	2.75
3	Jika Pengiriman ke Kota Ambon mulai dari Pel. Hunimua kembali ke Pel. Waai	PH-HRN-LDA-RSM-SAL-TOG-RRG-RMD-ME-SJM-RIL-PW	2.75
4	Jika Pengiriman ke Kota Ambon mulai dari P. Hunimua kembali ke Pel. Hunimua	PH-LDA-RSM-SAL-TOG-RRG-RMD-ME-RIL-SJM-HRN-PH	2.79
5	Jika Pengiriman ke Kota Masohi mulai dari Pel. Amahai kembali ke Pel. Amahai	PA-RRM-SJR-RUB-STB-RBK-RAN-RJL-RDN-PA	0.89
6	Jika Pengiriman ke Kota Masohi mulai dari Pel. Amahai kembali ke Pel. Masohi	PA-RJL-RDN-SJR-RUB-STB-RBK-RAN-RRM-PM	0.72
7	Jika Pengiriman ke Kota Masohi mulai dari Pel. Amahai kembali ke Pel. Wailey	PA-RDN-RJL-RRM-RAN-RBK-STB-RUB-SJR-PWL	3.49
8	Jika Pengiriman ke Kota Masohi mulai dari Pel. Amahai kembali ke Pel. Waipirit	PA-RDN-RJL-RRM-RAN-RBK-STB-RUB-SJR-PWP	4.78
9	Jika Pengiriman ke Kota Masohi mulai dari Pel. Masohi kembali ke Pel. Amahai	PM-RRM-SJR-RUB-STB-RBK-RAN-RJL-RDN-PA	0.69
10	Jika Pengiriman ke Kota Masohi mulai dari Pel. Masohi kembali ke Pel. Masohi	PM-RRM-SJR-RUB-STB-RBK-RAN-RJL-RDN-PM	0.53
No	Kondisi	Rute	Waktu (jam)
11	Jika Pengiriman ke Kota Masohi mulai dari Pel. Masohi kembali ke Pel. Wailey	PM-RBK-RAN-RJL-RDN-RRM-STB-RUB-SJR-PWL	3.32
12	Jika Pengiriman ke Kota Masohi mulai dari Pel. Masohi kembali ke Pel. Waipirit	PM-RBK-RAN-RJL-RDN-RRM-STB-RUB-SJR-PWP	4.61
13	Jika Pengiriman ke Kota Masohi mulai dari Pel. Wailey kembali ke Pel. Amahai	PWL-SJR-RUB-STB-RBK-RAN-RRM-RJL-RDN-PA	3.44
14	Jika Pengiriman ke Kota Masohi mulai dari Pel. Wailey kembali ke Pel. Masohi	PWL-SJR-RUB-STB-RBK-RAN-RJL-RDN-RRM-PM	3.28
15	Jika Pengiriman ke Kota Masohi mulai dari Pel. Wailey kembali ke Pel. Wailey	PWL-RUB-STB-RBK-RAN-RJL-RDN-RRM-SJR-PWL	6.44
16	Jika Pengiriman ke Kota Masohi mulai dari Pel. Wailey kembali ke Pel. Waipirit	PWL-SJR-RUB-RBK-RAN-RJL-RDN-RRM-STB-PWP	7.71
17	Jika Pengiriman ke Kota Masohi mulai dari Pel. Waipirit kembali ke Pel. Amahai	PWP-SJR-RUB-STB-RBK-RAN-RRM-RJL-RDN-PA	4.75
18	Jika Pengiriman ke Kota Masohi mulai dari Pel. Waipirit kembali ke Pel. Masohi	PWP-SJR-RUB-STB-RBK-RAN-RJL-RDN-RRM-PM	4.57
19	Jika Pengiriman ke Kota Masohi mulai dari Pel. Waipirit kembali ke Pel. Wailey	PWP-SJR-RUB-STB-RBK-RAN-RJL-RDN-RRM-PWL	7.73
20	Jika Pengiriman ke Kota Masohi mulai dari Pel. Waipirit kembali ke Pel. Waipirit	PWP-SJR-RUB-RBK-RAN-RJL-RDN-RRM-STB-PWP	8.99

Tahapan 3: Optimisasi rute secara keseluruhan

Pada tahapan ini, variabel waktu berupa perjalanan antar pelabuhan (*inland* dan *interland*) dan jadwal feri dibutuhkan sebagai input. Waktu perjalanan darat (*inland* oleh truk) berdasarkan pada output tahapan 1 dan 2, sedangkan waktu rata-rata perjalanan truk antara koperasi dan pelabuhan Umeputih sebesar 0,8 jam. Waktu perjalanan laut

(*interland* oleh feri) dan rute dan jadwal feri berdasarkan pada data yang didapat dari PT. ASDP Indonesia Ferry Cabang Ambon (2018). Waktu perjalanan antar pelabuhan (*inland* dan *interland*) dapat dilihat pada tabel 5, sedangkan rute dan jadwal feri dapat dilihat pada tabel 6. Data jadwal feri yang didapat akan diaproksimasi dalam urutan jam selama waktu perencanaan.

Tabel 5. Waktu perjalanan antar pelabuhan (*inland* dan *interland*)

Waktu	PU	PW	PH	PA	PM	PWL	PWP
PU	1.6	1.5		6		1	
PW	1.5	2.71	2.75				
PH		2.75	2.79		4		1.5
PA	6			0.89	0.72	3.49	4.78
PM			4	0.69	0.53	3.32	4.61
PWL	1			3.44	3.28	6.44	7.71
PWP			1.5	4.73	4.57	7.73	8.99

PU Pelabuhan Umeputih
 Waktu berdasarkan tahapan 1 & 2
 Waktu berdasarkan ASDP

Berdasarkan data rute dan jadwal feri dan waktu perjalanan yang didapat, masalah rute distribusi diselesaikan dengan algoritma heuristik yang dikembangkan sebelumnya. Hasil menunjukkan bahwa truk mulai berangkat dari pabrik ke pelabuhan Umeputih pada jam ke 14.7 (14:42) dan memilih rute feri ke pelabuhan Waai dengan jadwal keberangkatan di jam ke 15.5 (15:30). Setelah tiba di pelabuhan Waai pada jam ke 17 (17:00), truk akan melanjutkan perjalanan untuk mengunjungi pelanggan-pelanggan, supplier, dan mitra ekspedisi yang berada di Kota Ambon dan menuju ke pelabuhan Hunimua untuk memilih rute feri ke pelabuhan Waipirit pada jam keberangkatan ke 21 (21:00). Dengan begitu, maka truk akan menunggu selama 1.25 jam (1 jam 15 menit) di pelabuhan

Hunimua, sedangkan waktu tiba di pelabuhan Waipirit pada jam ke 22.5 (22:30). Setelah itu, truk akan mengunjungi pelanggan-pelanggan yang berada di Kota Masohi dan menuju ke pelabuhan Wailey untuk memilih rute feri ke pelabuhan Umeputih pada jam keberangkatan ke 34 (10:00 di hari kedua). Dengan begitu, maka truk akan menunggu selama 3.77 jam (\pm 3 jam 46 menit) di pelabuhan Wailey, sedangkan waktu tiba di pelabuhan Umeputih pada jam ke 35 (11:00 di hari kedua). Dengan waktu perjalanan dari pelabuhan Umeputih kembali ke pabrik selama 0.8 jam, maka total makespan yang dibutuhkan truk adalah 21.1 jam ($=35+0.8-14.7$). Hari-hari yang tepat untuk memulai distribusi adalah Senin, Selasa, Kamis, Jumat, dan Sabtu.

Tabel 6. Rute dan jadwal keberangkatan feri

Trip	Jadwal Keberangkatan Feri Rute Hunimua - Waipirit							
	Sen	Sel	Rab	Kam	Jum	Sab	Min	
1	5.5	5.5	5.5	5.5	5.5	5.5	5.5	
2	8	8	8	8	8	8	8	
3	10.5	10.5	10.5	10.5	10.5	10.5	10.5	
4	13	13	13	13	13	13	13	
5	15.5	15.5	15.5	15.5	15.5	15.5	15.5	
6	18.5	18.5	18.5	18.5	18.5	18.5	18.5	
7	21	21	21	21	21	21	21	

Trip	Jadwal Keberangkatan Feri Rute Waipirit - Hunimua							
	Sen	Sel	Rab	Kam	Jum	Sab	Min	
1	5.5	5.5	5.5	5.5	5.5	5.5	5.5	
2	8	8	8	8	8	8	8	
3	10.5	10.5	10.5	10.5	10.5	10.5	10.5	
4	13	13	13	13	13	13	13	
5	15.5	15.5	15.5	15.5	15.5	15.5	15.5	
6	18.5	18.5	18.5	18.5	18.5	18.5	18.5	
7	21	21	21	21	21	21	21	

Trip	Jadwal Keberangkatan Feri Rute Hunimua - Masohi							
	Sen	Sel	Rab	Kam	Jum	Sab	Min	
1	8	8	8	8	8	8	8	

Trip	Jadwal Keberangkatan Feri Rute Masohi - Hunimua							
	Sen	Sel	Rab	Kam	Jum	Sab	Min	
1	14	14	14	14	14	14	14	

Trip	Jadwal Keberangkatan Feri Rute Umeputih - Waai							
	Sen	Sel	Rab	Kam	Jum	Sab	Min	
1	15.5	15.5		15.5	15.5	15.5		

Trip	Jadwal Keberangkatan Feri Rute Waai - Umeputih							
	Sen	Sel	Rab	Kam	Jum	Sab	Min	
1	9	9		9	9	9		

Trip	Jadwal Keberangkatan Feri Rute Umeputih - Amaha							
	Sen	Sel	Rab	Kam	Jum	Sab	Min	
1	12	12		12	12	12		

Trip	Jadwal Keberangkatan Feri Rute Amaha - Umeputih							
	Sen	Sel	Rab	Kam	Jum	Sab	Min	
1			9				9	

Trip	Jadwal Keberangkatan Feri Rute Umeputih - Wailey							
	Sen	Sel	Rab	Kam	Jum	Sab	Min	
1	11	11	11	11	11	11	11	
2	13	13	13	13	13	13	13	

Trip	Jadwal Keberangkatan Feri Rute Wailey - Umeputih							
	Sen	Sel	Rab	Kam	Jum	Sab	Min	
1	10	10	10	10	10	10	10	
2	12	12	12	12	12	12	12	

KESIMPULAN

Berdasarkan hasil yang dicapai, maka kegiatan distribusi yang akan dilakukan koperasi dengan menggunakan truk-tunggal dapat dilakukan pada hari Senin, Selasa, Kamis, Jumat, dan Sabtu. Pelabuhan-pelabuhan yang dipilih sebagai penghubung antar pulau adalah Umeputih, Waai, Hunimua, Waipirit, dan Wailey. Rute dan jadwal keberangkatan feri yang sinkron di hari pertama adalah Umeputih-Waai pada jam 15:30 dan Hunimua-Waipirit pada jam 21:00. Sedangkan pada rute dan jadwal feri di hari kedua adalah Wailey-Umeputih pada jam 10:00. Dari pelabuhan yang direncanakan tersebut, maka rute perjalanan darat oleh truk untuk mengunjungi pelanggan, mitra ekspedisi, dan supplier di Kota Ambon adalah PW-LDA-RSM-SAL-TOG-RRG-RMD-ME-SJM-RIL-HRN-PH. Sedangkan rute truk di Kota Masohi adalah PWP-SJR-RUB-STB-RBK-RAN-RJL-RDN-RRM-PWL. Dengan rancangan sistem distribusi tersebut, maka total makespan atau waktu perjalanan yang dapat dicapai adalah 35.8 jam, sedangkan total waktu tunggu truk di pelabuhan adalah 5.02 jam.

Beberapa poin yang dapat diberikan terkait pengembangan penelitian ini ke depan, antara lain penambahan faktor biaya untuk mengetahui secara pasti konsekuensi dari kebijakan distribusi yang diambil, perekaman data permintaan sebagai bahan sensitivitas model, integrasi dengan kendala produksi dan tuntutan rantai pasokan, pengembangan dengan pendekatan atau metode lain, dan pengembangan pada masalah multi-truk dan sinkronisasi dengan mode transportasi lain.

REFERENSI

- Álvarez, E., Díaz, F., & Osaba, E. (2014). *A multi-agent approach for dynamic production and distribution scheduling*. *International Journal of Engineering Management and Economics*, 4(3/4), 229. doi:10.1504/ijeme.2014.066943.
- Cömert, S. E., Yazgan, H. R., Sertvuran, ., & engül, H. (2017). *A new approach for solution of vehicle routing problem with hard time window: an application in a supermarket chain*. *S dhan*, 42(12), 2067–2080. doi: 10.1007/s12046-017-0754-1.
- Desrochers, M., & Laporte, G., (1991). *Improvements and extensions to the Miller-Tucker-Zemlin subtour elimination constraints*, *Operations Research Letters*, Vol.10, pp. 27-36.
- Dondo, R., & Cerdá, J. (2007). *A cluster-based optimization approach for the multi-depot heterogeneous fleet vehicle routing problem with time windows*. *European Journal of Operational Research*, 176(3), 1478–1507. doi:10.1016/j.ejor.2004.07.077.
- Gendreau, M., Ghiani, G., Guerriero, E., (2015). *Time dependent routing problems: A review*. *Compute Oper. Res.* 64, 189-197.
- Ioannou, G., Kritikos, M. N., & Prastacos, G. P. (2008). *An assignment-based heuristic for vehicle routing with time windows*. *Operational Research*, 8(3), 219–233. doi:10.1007/s12351-008-0018-2.
- Luo, Z., Qin, H., Che, C., & Lim, A. (2015). *On service consistency in multi-period vehicle routing*. *European Journal of Operational Research*, 243(3), 731–744. doi:10.1016/j.ejor.2014.12.019.
- Malandraki, C., Daskin, M., 1992. *Time dependent vehicle routing problems: formulation, properties, and heuristic algorithms*. *Transportation Science*, 26, 185-200.
- Miller, C. E., Tucker, A. W., & Zemlin, R. A. (1960). *Integer programming formulations and traveling salesman problems*. *Journal of the ACM*, Vol.7, pp.326-329.
- Neves-Moreira, F., Pereira da Silva, D., Guimarães, L., Amorim, P., & Almada-Lobo, B. (2018). *The time window assignment vehicle routing problem with product dependent deliveries*. *Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review*, 116, 163–183. doi:10.1016/j.tre.2018.03.004.
- _____, (2018). *Jadwal keberangkatan feri di lingkup Cabang Ambon*. PT. ASDP Indonesia Ferry Cabang Ambon 2018.