

MODEL OPTIMISASI UNTUK MASALAH MINIMISASI WAKTU PERJALANAN WISATA TUR-TUNGGAL DI DAERAH KEPULAUAN

Mohammad Thezar Afifudin*

Program Studi Teknik Industri, Universitas Pattimura, Kota Ambon, Indonesia

Dian Pratiwi Sahar

Program Studi Teknik Industri, Universitas Pattimura, Kota Ambon, Indonesia

*E-mail korespondensi: thezar.afifudin@fatek.unpatti.ac.id

ABSTRAK

Penelitian ini bertujuan untuk mengembangkan model optimasi penyelesaian masalah minimisasi waktu perjalanan wisata tur-tunggal di daerah kepulauan. Model dikembangkan dengan menggunakan pendekatan integer programming dan diformulasikan dalam bentuk non-linear. Faktor-faktor yang dipertimbangkan meliputi klaster pulau, rute dan jadwal keberangkatan di setiap titik koneksi, dan seleksi titik akomodasi. Validasi model dilakukan melalui percobaan numerikal untuk menguji konsistensi dan adaptabilitas nilai keluaran model terhadap perubahan parameter yang diberikan. Skenario percobaan direncanakan berdasarkan variasi hari keberangkatan dan maksimum waktu kover titik akomodasi. Hasil menunjukkan bahwa model memiliki adaptabilitas dan konsisten terhadap perubahan parameter berdasarkan empat belas skenario yang diberikan.

Kata Kunci: optimisasi, perutean, penjadwalan, tur, kepulauan.

ABSTRACT

This study aims to develop an optimization model to solve the insular single-tour tourist trips time-minimization problems. The model is developed using an integer programming approach and is formulated in a non-linear form. Factors considered include island clusters, routes and departure schedules at each connection point, and the selection of accommodation points. Model validation is done through numerical experiments to test the consistency and adaptability of the model output values to changes in given parameters. The experimental scenario is planned based on the variation of the day of departure and the maximum cover time for the accommodation point. The results show that the model has adaptability and consistent with parameter changes based on the fourteen given scenarios.

Keywords: optimization, routing, scheduling, tour, insular.

1. PENDAHULUAN

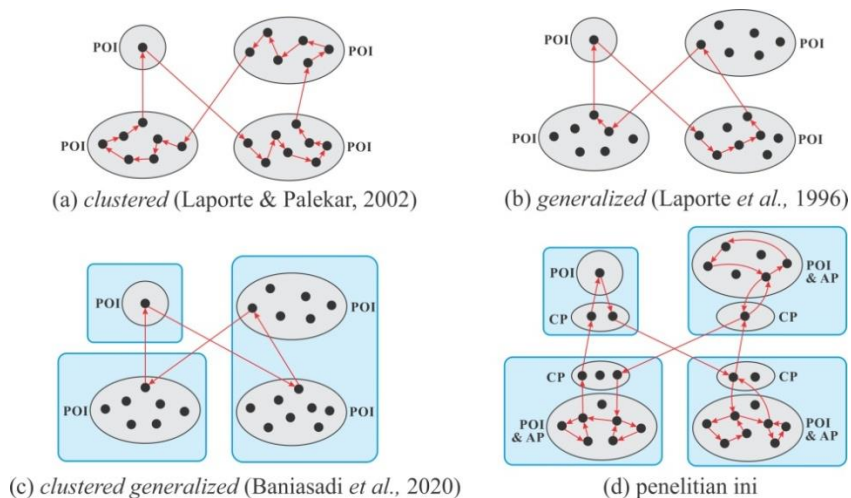
Perkembangan teknologi informasi memudahkan wisatawan dapat mengakses dan merencanakan sendiri rute perjalanan ke spot-spot wisata yang diinginkan. Banyak industri wisata mulai menyediakan fasilitas pendukung keputusan untuk memudahkan wisatawan dapat mengakses informasi, baik mengenai ketersediaan sarana prasarana transportasi, rute wisata ke spot-spot, waktu perjalanan dan kunjungan, dan biaya yang diperlukan. Fasilitas tersebut dapat berupa aplikasi secara personal maupun *online* yang terintegrasi ke website. Untuk mendukung fasilitas tersebut, beberapa model penyelesaian masalah perjalanan wisata mulai diperkenalkan oleh para peneliti, diantaranya adalah *tourist trip design problem* (TTDP).

TTDP didefinisikan sebagai masalah perencanaan rute bagi turis untuk mengunjungi sejumlah POI (Vansteenwegen & Oudheusden, 2007). TTDP dikenal juga dengan nama *travel itinerary problem* (TIP) atau *tour route plan problem* (TRPP). TTDP dirancang untuk kebebasan wisatawan memilih spot dan rute yang diinginkan. Perspektif ini yang menyebabkan TTDP berbeda dengan masalah-masalah tur lainnya (lihat Lim *et al.* 2018; Anagnostopoulos *et al.*, 2016).

Pembahasan mengenai TTDP tidak terlepas dari *orienteering problem* (OP) dan *vehicle routing problem* (VRP). Vansteenwegen *et al.* (2011) menjelaskan bahwa versi dasar TTDP memiliki korespondensi dengan OP, salah satu varian VRP. Gunawan *et al.* (2018) menyajikan survey secara detail mengenai OP dan aplikasinya ke TTDP. Secara umum, TTDP dibagi menjadi dua, yaitu *single-tour* TTDP dan *multi-tour* TTDP. *Single-tour* TTDP dikembangkan dari OP, sedangkan *multi-tour* TTDP dari *team OP* (TOP). Varian-varian TTDP dan algoritma penyelesaiannya yang telah diperkenalkan dapat dilihat dalam Gavalas *et al.*, 2014.

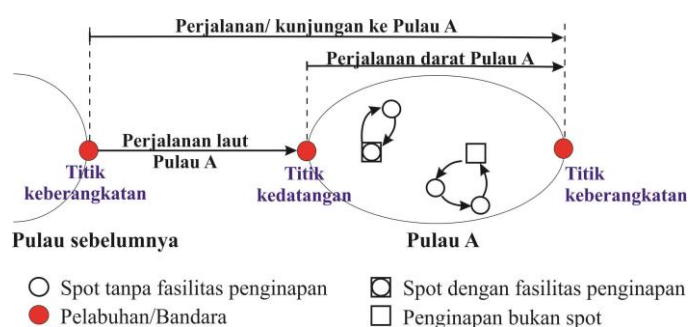
Dalam penelitian ini, varian baru dari *single-tour* TTDP diperkenalkan terkait dengan zona kepulauan dan pendekatan penyelesaiannya. Beberapa varian OP yang bersinggungan dengan masalah ini diantaranya *clustered OP* (COP), *generalized OP* (GOP), *time-dependent OP* (TDOP), dan *OP with hotel selection* (OPHS). Masalah dideskripsikan sebagai perencanaan tur seorang turis ke sejumlah titik wisata yang diinginkan (Point of Interest – POI), yang tersebar pada sejumlah pulau, dimana lamanya tur tidak melebihi batasan waktu yang ditentukan. Sistem masalah (lihat Gambar 1) terdiri dari: (1) himpunan atau set pulau (klaster), (2) set titik koneksi antar pulau (*Connection point* – CP), seperti pelabuhan atau bandara, (3) set titik meliputi titik-titik wisata (*Point of Interest* – POI) yang memiliki fasilitas akomodasi (penginapan) dan yang tidak, dan titik-titik alternatif akomodasi (*Accommodation Points* – AP), dan (4) set jadwal keberangkatan. Setiap pulau memiliki sedikitnya satu POI yang memiliki fasilitas penginapan dan satu CP yang terhubung dengan dua CP lainnya (di dua pulau berbeda).

Dilihat dari strukturnya, sistem masalah ini meliputi karakteristik klusterisasi (*clustered*) dan generalisasi (*generalized*). Kedua terminologi tersebut digunakan para peneliti untuk membedakan struktur sistem masalah perutean ke sejumlah titik yang dibatasi dalam grup. Klusterisasi lebih ditekankan pada kunjungan semua titik di setiap klaster (Laporte & Palekar, 2002), sedangkan generalisasi hanya ditekankan pada kunjungan semua klaster, atau setidaknya satu titik harus dikunjungi di setiap klaster (Laporte *et al.*, 1996). *Clustered OP* (COP) didiskusikan oleh Angelelli *et al.* (2014), sedangkan *Generalized OP* (GOP) didiskusikan oleh Geem *et al.* (2005). Riset terbaru yang dilakukan Baniasadi *et al.* (2020) menjadi motivasi untuk penelitian ini. Dalam penelitian tersebut, diperkenalkan gabungan antara klusterisasi dan generalisasi (*clustered generalized*).



Gambar 1. Perbedaan *link* berdasarkan terminologi *clustered-generalized* dalam perutean

Terminologi *time-dependent* dalam masalah perutean pertama kali dikemukakan oleh Malandraki & Daskin (1992) untuk menyelesaikan *time-dependent* VRP (TDVRP) menggunakan MILP. Pengembangannya pada OP (TDOP) dilakukan oleh Garcia *et al.*, 2010, Gunawan *et al.*, 2014, Verbeeck *et al.*, 2014, dan Abbaspour & Samadzadegan, 2011. Namun, terminologi *time-dependent* dalam penelitian-penelitian tersebut hanya terikat pada satu aspek, dimana waktu perjalanan antara dua titik bergantung pada waktu keberangkatan dari titik sebelumnya. Dalam penelitian ini, *time-dependent* ditinjau pada dua aspek. Pertama, waktu perjalanan antara dua pulau bergantung pada waktu keberangkatan dari pulau sebelumnya. Waktu keberangkatan dari suatu pulau ditentukan berdasarkan pada seleksi rute antar pulau dan jadwal keberangkatan yang tersedia. Kedua, waktu perjalanan antar dua titik (di suatu pulau) bergantung pada waktu keberangkatan dari titik sebelumnya. Waktu antar titik (CP, POI, dan/atau AP) adalah asimetrik dan deterministik. Lama kunjungan ke suatu pulau diestimasi dari selisih antara waktu keberangkatan dari pulau tersebut dan keberangkatan dari pulau sebelumnya. Gambar 2 mengilustrasikan lama kunjungan terdiri dari waktu perjalanan laut, perjalanan darat, dan menunggu keberangkatan. Waktu/ biaya perjalanan laut ke suatu pulau diestimasi mulai dari keberangkatan dari pulau sebelumnya hingga tiba di titik kedatangan di pulau tersebut. Sedangkan waktu/ biaya perjalanan darat di suatu pulau diestimasi mulai dari titik kedatangan hingga tiba di titik keberangkatan.



Gambar 2. Ilustrasi perjalanan dan kunjungan suatu pulau

Hubungannya dengan *hotel selection* dapat dilihat pada seleksi titik akomodasi (e.g. penginapan dan hotel). Divsalar *et al.* (2013) mengemukakan OPHS sebagai masalah perjalanan turis multi-hari dengan mempertimbangkan hotel sebagai titik akomodasi. Perjalanan ke sejumlah POI bergantung pada hotel-hotel yang diseleksi, diawali dari hotel dan kembali ke hotel. Masalah ini diselesaikan dengan menggunakan metode *variable neighborhood search* (VNS). Berbeda dengan penelitian ini, titik akomodasi (*accommodation point* - AP) hanya akan dipilih jika memenuhi waktu kover maksimum yang ditentukan. Selain itu, tujuan dari model masalah tidak untuk memaksimalkan, melainkan meminimisasi skor (waktu) (e.g. Vansteenwegen *et al.*, 2012).

Hingga kini, riset-riset mengenai *single-tour* TTDP pada zona kepulauan tidak ditemukan. Masalah perencanaan tur dengan pertimbangan zona kepulauan hanya ditemukan pada masalah-masalah perutean kendaraan. Miranda *et al.* (2015) dan González *et al.* (2017) mengatasi jenis masalah perutean kapal terkait dengan pengumpulan sampah di zona kepulauan. Dalam kasus tersebut, pemilihan titik koneksi antar pulau (pelabuhan) dioptimalkan secara bersamaan dengan keputusan urutan kunjungan, sambil mempertimbangkan proses pengangkutan jalur darat ke pelabuhan. Masalah ini kemudian dikenal dengan *insular traveling salesman problem* (ITSP) (Miranda *et al.*, 2018). Namun, masalah ini tidak mempertimbangkan penjadwalan. Afifudin & Sahar (2020) mengusulkan penyelesaian masalah perutean dan penjadwalan truk-tunggal dalam pendistribusian produk-tunggal di zona kepulauan. Dalam kasus tersebut, seleksi titik koneksi antar pulau (pelabuhan) dioptimalkan secara bersamaan dengan keputusan urutan kunjungan untuk mendapatkan *makespan* optimal.

Fokus penelitian ini adalah untuk mengembangkan model optimisasi untuk penyelesaian varian baru TTDP yang telah dibahas, yaitu masalah minimisasi waktu perencanaan rute tunggal pada zona kepulauan.

2. METODE DAN BAHAN

a. Metode

Integer programming (IP) digunakan sebagai pendekatan penyelesaian masalah. Dalam pendekatan ini, sistem masalah diformulasi menjadi model matematis non-linear integer sesuai dengan deskripsi batasan sistem. Model tersebut diprogram menggunakan alat bantu (software/aplikasi) untuk divalidasi konsistensi dan adaptabilitasnya.

Validasi model dilakukan melalui percobaan numerikal terhadap perubahan parameter yang diberikan. Skenario percobaan direncanakan sebanyak empat belas berdasarkan hari keberangkatan dan waktu kover penginapan. Indikator validitas dilihat pada harapan yang diinginkan. Harapan dari adaptasi model, yaitu ketika waktu kover penginapan, maka akan memberikan nilai tujuan (waktu) yang lebih kecil atau sama. Selain itu, variasi hari keberangkatan harus menunjukkan variasi capaian, baik pada waktu perjalanan antar pulau, waktu perjalanan dalam pulau, waktu menunggu, makespan, waktu keberangkatan, atau rute. Model dikatakan teruji jika keseluruhan harapan terpenuhi.

b. Bahan

Untuk memudahkan validasi, formula matematis model diprogram dengan menggunakan software bantu (Lingo) dan aplikasi MS Excel. Parameter-parameter yang digunakan dalam validasi dikreasi dari masalah-masalah yang sering dihadapi oleh industri-industri wisata di Maluku. Data-data yang digunakan sebagai parameter-parameter model dapat diakses pada Afifudin (2021) atau <https://data.mendeley.com/datasets/39yhpfp7ct/1>. Dataset tersebut disusun berdasarkan struktur sistem masalah yang meliputi 5 pulau, 10 titik koneksi (CP), 13 titik (POI/AP), dan 54 jadwal keberangkatan selama waktu perencanaan.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

a. Set dan index

Set dan indeks yang digunakan dalam formulasi model sebagai berikut:

Q^1 = Set pulau = $\{1,2,\dots,N^1\}$, dimana N^1 adalah banyaknya pulau

Q^2 = Set titik koneksi antar pulau (pelabuhan/bandara) = $\{1,2,\dots,N^2\}$, dimana N^2 adalah banyaknya titik koneksi antar pulau

Q^3 = Set titik penginapan dan wisata = $\{1,2,\dots,N^3\}$, dimana N^3 adalah banyaknya titik penginapan dan wisata

Q^4 = Set jadwal/ waktu keberangkatan = $\{1,2,\dots,N^4\}$, dimana N^4 adalah banyaknya jadwal/ waktu keberangkatan

A, B , atau C = Indeks untuk setiap pulau

D, E , atau F = Indeks untuk setiap titik koneksi antar pulau (pelabuhan/bandara)

G, H , atau I = Indeks untuk setiap titik penginapan dan wisata

J = Indeks untuk setiap waktu keberangkatan

b. Parameter-parameter

Beberapa parameter yang perlu ditentukan sebelumnya sebagai berikut:

$ZA_{A,D}$ = 1, jika pelabuhan/bandara D berlokasi di pulau A ; dan 0, jika tidak

$ZB_{A,G}$ = 1, jika penginapan/spot G berlokasi di pulau A ; dan 0, jika tidak

$ZC_{D,E}$ = 1, jika pelabuhan/bandara D dan E terkoneksi; dan 0, jika tidak

$ZD_{G,H}$ = 1, jika penginapan/spot G dan H terkoneksi; dan 0, jika tidak

$TA_{D,E}$ = Waktu perjalanan antar pelabuhan dari D ke E

$TB_{G,H}$ = Waktu perjalanan antar penginapan/spot wisata dari G ke H

- $TC_{D,G}$ = Waktu perjalanan dari pelabuhan D ke penginapan/spot wisata G
 $TD_{G,D}$ = Waktu perjalanan dari penginapan/spot wisata G ke pelabuhan D
 TE_D = Waktu proses *load-unload* muatan di pelabuhan D
 TF_G = Waktu proses di penginapan/spot wisata G
 XA_G = 1, jika titik G termasuk penginapan; dan 0, jika tidak
 XB_G = 1, jika titik G termasuk spot wisata; dan 0, jika tidak
 VA_K = Waktu keberangkatan pada jadwal K
 $VB_{D,E,K}$ = 1, jika perjalanan dari pelabuhan/bandara D ke E menggunakan jadwal K ; dan 0, jika tidak
 S = Maksimum waktu mulai dari pulau urutan pertama
 $MaxC$ = Maksimum waktu kover perjalanan ke spot-spot wisata tujuan dari titik penginapan.

c. Variabel-variabel keputusan

Variabel-variabel keputusan yang digunakan dalam formulasi meliputi:

- $YA_{A,D}$ = 1, jika pelabuhan/bandara D dipilih sebagai titik kedatangan di pulau A ; dan 0, jika tidak
 $YB_{A,D}$ = 1, jika pelabuhan/bandara D dipilih sebagai titik keberangkatan di pulau A ; dan 0, jika tidak
 $WA_{D,E}$ = 1, jika rute pelabuhan/bandara D ke E dipilih; dan 0, jika tidak
 $YC_{A,G}$ = 1, jika titik G dipilih sebagai titik penginapan di pulau A ; dan 0, jika tidak
 $WB_{G,H}$ = 1, jika rute dari titik penginapan/spot G ke H dipilih; dan 0, jika tidak
 $WC_{D,G}$ = 1, jika rute dari pelabuhan/bandara D ke titik penginapan G dipilih; dan 0, jika tidak
 $WD_{G,D}$ = 1, jika rute dari titik penginapan G ke pelabuhan/bandara D dipilih; dan 0, jika tidak
 $WE_{G,H}$ = 1, jika titik G dipilih sebagai titik penginapan untuk mengunjungi spot H ; dan 0, jika tidak
 $WF_{G,H,I}$ = 1, jika pada loop penginapan G , rute dari penginapan/spot H ke I dipilih; dan 0, jika tidak
 $VC_{A,B,J}$ = 1, jika keberangkatan dari pulau A ke B pada waktu J dipilih; dan 0, jika tidak.
 TTS_A = Waktu keberangkatan dari pulau A .

d. Variabel-variabel tambahan

- $YD_{G,H}$ = 1, jika $TB_{G,H} \leq MaxC$ dan $XA_G = XB_H = 1$; dan 0, jika tidak
 XC_G = 1, jika $XA_G = 1$ dan $XB_G = 0$; dan 0, jika tidak
 TT_A = Jumlah waktu dibutuhkan untuk mengunjungi pulau A mulai dari keberangkatan dari pulau sebelumnya sampai tiba di titik keberangkatan pulau A
 CT_A = Jumlah biaya dibutuhkan untuk mengunjungi pulau A mulai dari keberangkatan dari pulau sebelumnya sampai tiba di titik keberangkatan pulau A

e. Formulasi Matematis

Model penyelesaian masalah diformulasi melalui pemrograman integer non-linear sebagai berikut:

Tujuan:

$$\text{Minimize } [Max(TTS_A) + TT_1 - Min(TTS_A)] + T \quad 1$$

$$T = \left. \begin{aligned} & \left[\sum_D \sum_E WA_{D,E} \cdot TA_{D,E} + \sum_G \sum_H WB_{G,H} \cdot TB_{G,H} + \sum_D \sum_G WC_{D,G} \cdot TC_{D,G} + \right. \\ & \left. \sum_G \sum_D WD_{G,D} \cdot TD_{G,D} + \sum_G \sum_H \sum_I WF_{G,H,I} \cdot TB_{H,I} + \sum_A \sum_D YA_{A,D} \cdot TE_D + \right. \\ & \left. \sum_A \sum_D YB_{A,D} \cdot TE_D + \sum_A \sum_G ZB_{A,G} \cdot XB_G \cdot TF_G + \right. \\ & \left. \sum_A \sum_G (1 - YC_{A,G}) \cdot ZB_{A,G} \cdot XA_G \cdot XB_G \cdot TG_G \cdot TF_G + \right. \\ & \left. \sum_A \sum_G YC_{A,G} \cdot ZB_{A,G} \cdot XC_G \cdot TF_G \right] + [Max(TTS_A) - TTS_1 + TT_1] \end{aligned} \right\} 2$$

$$\left. \begin{aligned} Max(TTS_A) & \geq \left(\sum_G XB_G \cdot TF_G \right) + (N_1 \cdot 2 \cdot Min(TE_D)) \\ T & \geq \left(\sum_G XB_G \cdot TF_G \right) + (N_1 \cdot 2 \cdot Min(TE_D)) \end{aligned} \right\} 3$$

Dalam masalah ini, waktu direpresentasikan dari total waktu perjalanan dan *makespan*. Untuk meminimisasi waktu, maka penjumlahan dari keduanya perlu diminimisasi. Ekuasi (1) merupakan formulasi untuk penjumlahan total waktu perjalanan dan *makespan*. Total waktu perjalanan (T) merupakan akumulasi waktu dari perjalanan laut dan darat (Ekuasi 2). Ekuasi 3 menjelaskan nilai batas bawah (*lower bound*) untuk T dan waktu keberangkatan di pulau terakhir $Max(TTS_A)$.

Kendala-kendala:

1). Penentuan titik keberangkatan dan titik kedatangan di suatu pulau

$$YA_{A,D} = \{0,1\} ; \forall A \in Q^1, \forall D \in Q^2 \quad 4$$

$$YB_{A,D} = \{0,1\} ; \forall A \in Q^1, \forall D \in Q^2 \quad 5$$

$$YA_{A,D} \leq ZA_{A,D} ; \forall A \in Q^1, \forall D \in Q^2 \quad 6$$

$$YB_{A,D} \leq ZA_{A,D} ; \forall A \in Q^1, \forall D \in Q^2 \quad 7$$

$$\sum_D YA_{A,D} = 1 ; \forall A \in Q^1 \quad 8$$

$$\sum_D YB_{A,D} = 1 ; \forall A \in Q^1 \quad 9$$

Ekuasi (4) dan (5) mengatur nilai $YA_{A,D}$ dan $YB_{A,D}$ sebagai variabel keputusan titik keberangkatan dan kedatangan di suatu pulau hanya dalam batasan integer binari. Ekuasi (6) dan (7) membatasi setiap pelabuhan/ bandara yang akan menjadi titik keberangkatan dan kedatangan di setiap pulau hanya yang berlokasi di pulau A. Ekuasi (8) dan (9) membatasi jumlah titik keberangkatan dan kedatangan di setiap pulau harus sama dengan satu.

2). Penentuan rute antar pelabuhan

Ekuasi (10) mengatur nilai $WA_{D,E}$ sebagai variabel keputusan rute antar titik koneksi (pelabuhan/ bandara) hanya dalam batasan integer binari. Ekuasi (11) membatasi $WA_{D,E}$ akan bernilai 1 jika kedua titik terkoneksi ($ZC_{D,E} = 1$).

$$WA_{D,E} = \{0,1\} ; \forall D \in Q^2, \forall E \in Q^2 \quad 10$$

$$WA_{D,E} \leq ZC_{D,E} ; \forall D \in Q^2, \forall E \in Q^2 \quad 11$$

$$WA_{D,E} \cdot ZA_{A,D} \cdot ZA_{A,E} \leq 0 ; \forall A \in Q^1, \forall D \in Q^2, \forall E \in Q^2, E \neq D \quad 12$$

$$\left. \begin{aligned} WA_{D,E} \cdot ZA_{A,D} \cdot ZA_{B,E} & \leq YB_{A,D} \\ WA_{D,E} \cdot ZA_{A,D} \cdot ZA_{B,E} & \leq YA_{B,E} \end{aligned} \right\} ; \forall A \in Q^1, \forall B \in Q^1, \forall D \in Q^2, \forall E \in Q^2, E \neq D \quad 13$$

$$\sum_D \sum_{E \neq D} WA_{D,E} \cdot ZA_{A,D} \cdot ZA_{B,E} + \sum_D \sum_{E \neq D} WA_{D,E} \cdot ZA_{B,D} \cdot ZA_{A,E} \leq 1 ; \forall A \in Q^1, \forall B \in Q^1 \quad 14$$

$$\sum_D \sum_{E \neq D} WA_{D,E} \cdot ZA_{A,D} \cdot ZA_{B,E} = 1 ; \forall A \in Q^1 \quad 15$$

$$\sum_B \sum_D \sum_{E \neq D} WA_{D,E} \cdot ZA_{B,D} \cdot ZA_{A,E} = 1 ; \forall A \in Q^1 \quad 16$$

$$\sum_B \sum_D \sum_E WA_{D,E} \cdot ZA_{A,D} \cdot ZA_{B,E} = N^1 ; \forall A \in Q^1 \quad 17$$

Terkait hubungannya dengan set pulau, penentuan WA memerlukan integrasi dengan parameter ZA yang menjelaskan keberadaan pelabuhan di suatu pulau. Ekuasi (12) menjelaskan bahwa rute antar-pulau tidak berlaku untuk dua titik pelabuhan yang sama. Ekuasi (13) menjelaskan bahwa rute antar-pulau hanya akan dipilih jika rute diawali dari titik keberangkatan di pulau sebelumnya dan berakhir di titik kedatangan di pulau tujuan. Ekuasi (14) membatasi agar rute keberangkatan dan kedatangan suatu pulau tidak terjadi pada pulau yang sama. Ekuasi (15) dan (16) membatasi jumlah rute keluar dari suatu pulau dan rute masuk hanya sekali. Sedangkan Ekuasi (17) membatasi jumlah rute antar-pulau hanya sebanyak jumlah pulau.

3). Penentuan titik penginapan di suatu pulau

$$YC_{A,G} = \{0,1\} ; \forall A \in Q^1, \forall G \in Q^3 \quad 18$$

$$YC_{A,G} \leq XA_G \cdot ZB_{A,G} ; \forall A \in Q^1, \forall G \in Q^3 \quad 19$$

$$1 \leq \sum_G YC_{A,G} \leq \sum_G XA_G \cdot ZB_{A,G} ; \forall A \in Q^1 \quad 20$$

$$YD_{G,H} = \begin{cases} 1, & TB_{G,H} \leq MaxC; XA_G = XB_H = 1 \\ 0, & \text{lainnya} \end{cases} ; \forall G \in Q^3, \forall H \in Q^3 \quad 21$$

$$\sum_G YC_{A,G} \cdot YD_{G,H} \leq XB_H \cdot ZB_{A,H} ; \forall A \in Q^1, \forall H \in Q^3 \quad 22$$

Ekuasi (18) mengatur nilai YC sebagai variabel keputusan titik penginapan di suatu pulau hanya dalam batasan integer binari. Ekuasi (19) membatasi YC suatu titik akan bernilai 1 jika titik tersebut termasuk penginapan dan berlokasi di pulau yang sesuai ($XA_G = ZB_{A,G} = 1$). Ekuasi (20) membatasi jumlah $YC_{A,G}$ di setiap pulau berada pada batasan sekurangnya sebanyak 1 dan selebihnya sebanyak jumlah penginapan yang tersedia di pulau tersebut.

Ekuasi (21) ditujukan pada variabel tambahan YD yang digunakan untuk membantu YC dalam mengkover titik wisata. Untuk indeks titik (penginapan) G dan indeks titik (wisata) H , $YD_{G,H}$ bernilai 1, jika waktu tempuh dari titik G ke H ($TB_{G,H}$) berada pada range waktu pengkoveran sebesar parameter $MaxC$, titik G merupakan titik penginapan ($XA_G = 1$), dan titik H merupakan titik wisata ($XB_H = 1$). Sedangkan Ekuasi (22) menyatakan bahwa jumlah titik penginapan yang dapat mengkover titik-titik wisata harus memenuhi batasan YD .

4). Penentuan rute antar titik penginapan di suatu pulau

Ekuasi (23) mengatur nilai $WB_{G,H}$ sebagai variabel keputusan rute antar titik penginapan di suatu pulau hanya dalam batasan integer binari. Ekuasi (24) membatasi $WB_{G,H}$ akan bernilai 1 jika kedua titik terkoneksi ($ZD_{G,H} = 1$).

$$WB_{G,H} = \{0,1\} ; \forall G \in Q^3, \forall H \in Q^3 \quad 23$$

$$WB_{G,H} \leq ZD_{G,H} ; \forall G \in Q^3, \forall H \in Q^3 \quad 24$$

$$WB_{G,H} = 0 ; \forall G \in Q^3, \forall H \in Q^3, H = G \quad 25$$

$$\left. \begin{array}{l} WB_{G,H} \cdot ZB_{A,G} \cdot ZB_{A,H} \leq YC_{A,G} \\ WB_{G,H} \cdot ZB_{A,G} \cdot ZB_{A,H} \leq YC_{A,H} \end{array} \right\} ; \forall A \in Q^1, \forall G \in Q^3, \forall H \in Q^3 \quad 26$$

$$\sum_G \sum_H WB_{G,H} \cdot ZB_{A,G} \cdot ZB_{A,H} = \sum_G YC_{A,G} ; \forall A \in Q^1 \quad 27$$

Terkait hubungannya dengan set pulau, penentuan WB memerlukan integrasi dengan parameter ZB yang menjelaskan keberadaan titik penginapan di suatu pulau. Ekuasi (25)

menjelaskan bahwa rute antar titik (penginapan) tidak berlaku untuk dua titik yang sama. Ekuasi (26) menjelaskan bahwa rute antar dua titik (penginapan) hanya akan dipilih jika kedua titik dipilih sebagai titik penginapan. Sedangkan Ekuasi (27) membatasi jumlah rute antar titik (penginapan) hanya sebanyak jumlah titik (penginapan) yang dipilih di suatu pulau.

5). Penentuan rute antar titik kedatangan dengan titik penginapan di suatu pulau

$$WC_{D,G} = \{0,1\} ; \forall D \in Q^2, \forall G \in Q^3 \quad 28$$

$$\left. \begin{aligned} WC_{D,G} \cdot ZA_{A,D} \cdot ZB_{A,G} &\leq YA_{A,D} \\ WC_{D,G} \cdot ZA_{A,D} \cdot ZB_{A,G} &\leq YC_{A,G} \end{aligned} \right\} ; \forall A \in Q^1, \forall D \in Q^2, \forall G \in Q^3 \quad 29$$

$$\sum_D \sum_G WC_{D,G} \cdot ZA_{A,D} \cdot ZB_{A,G} = 1 ; \forall A \in Q^1 \quad 30$$

Ekuasi (28) mengatur nilai $WC_{D,G}$ sebagai variabel keputusan rute antar titik kedatangan dengan titik penginapan di suatu pulau hanya dalam batasan integer binari. Terkait hubungannya dengan set pulau, penentuan WB memerlukan integrasi dengan parameter ZA dan ZB . ZA untuk menjelaskan keberadaan pelabuhan di suatu pulau, sedangkan ZB untuk menjelaskan keberadaan titik penginapan di suatu pulau.

Ekuasi (29) menjelaskan bahwa rute antar titik kedatangan dengan titik penginapan hanya akan dipilih jika titik D dipilih sebagai titik kedatangan dan titik G dipilih sebagai titik penginapan di suatu pulau. Sedangkan Ekuasi (30) membatasi jumlah rute antar titik kedatangan dengan titik penginapan di suatu pulau hanya sebanyak satu.

6). Penentuan rute antar titik penginapan dengan titik keberangkatan di suatu pulau

$$WD_{G,D} = \{0,1\} ; \forall G \in Q^3, \forall D \in Q^2 \quad 31$$

$$\left. \begin{aligned} WD_{G,D} \cdot ZB_{A,G} \cdot ZA_{A,D} &\leq YC_{A,G} \\ WD_{G,D} \cdot ZB_{A,G} \cdot ZA_{A,D} &\leq YB_{A,D} \end{aligned} \right\} ; \forall A \in Q^1, \forall G \in Q^3, \forall D \in Q^2 \quad 32$$

$$\sum_G \sum_D WD_{G,D} \cdot ZB_{A,G} \cdot ZA_{A,D} = 1 ; \forall A \in Q^1 \quad 33$$

Ekuasi (5.32) menjelaskan bahwa rute antar titik penginapan dengan titik keberangkatan hanya akan dipilih jika titik G dipilih sebagai titik penginapan di suatu pulau dan titik D dipilih sebagai titik keberangkatan. Sedangkan Ekuasi (33) membatasi jumlah rute antar titik penginapan dengan titik keberangkatan di suatu pulau hanya sebanyak satu.

7). Penentuan konektivitas rute antar titik penginapan dengan titik kedatangan dan titik keberangkatan di suatu pulau

Untuk mengkoneksikan titik kedatangan, titik penginapan, dan titik keberangkatan di suatu pulau, maka diperlukan formulasi seperti yang dapat dilihat pada Ekuasi (34). Ekuasi ini membatasi sistem model agar penentuan jumlah rute yang menuju ke suatu titik penginapan G , sama besarnya dengan jumlah rute yang keluar dari titik G . Rute yang masuk menuju titik G dapat berasal dari titik kedatangan atau titik penginapan lain, sedangkan rute yang keluar dari titik G dapat menuju ke titik penginapan lain atau langsung ke titik keberangkatan.

$$\left. \begin{aligned} \sum_D WC_{D,G} \cdot ZA_{A,D} \cdot ZB_{A,G} + \sum_{H \neq G} WB_{H,G} \cdot ZB_{A,H} \cdot ZB_{A,G} &= \\ \sum_{H \neq G} WB_{G,H} \cdot ZB_{A,G} \cdot ZB_{A,H} + \sum_D WD_{G,D} \cdot ZB_{A,G} \cdot ZA_{A,D} & \end{aligned} \right\} ; \forall A \in Q^1, \forall G \in Q^3 \quad 34$$

8). Penentuan pengkoveran titik penginapan terhadap spot-spot wisata di suatu pulau

Ekuasi (35) mengatur nilai $WE_{G,H}$ sebagai variabel keputusan pengkoveran titik penginapan terhadap spot-spot wisata di suatu pulau hanya dalam batasan integer binari. Ekuasi (36) membatasi $WE_{G,H}$ akan bernilai 1 jika kedua titik terkoneksi ($ZD_{G,H} = 1$).

$$WE_{G,H} = \{0,1\} ; \forall G \in Q^3, \forall H \in Q^3 \quad 35$$

$$WE_{G,H} \leq ZD_{G,H} ; \forall G \in Q^3, \forall H \in Q^3 \quad 36$$

$$WE_{G,H} \cdot ZB_{A,G} \cdot ZB_{A,H} \leq YC_{A,G} \cdot YD_{G,H} ; \forall A \in Q^1, \forall G \in Q^3, \forall H \in Q^3 \quad 37$$

$$\sum_G WE_{G,H} \cdot ZB_{A,G} \cdot ZB_{A,H} \leq XB_H \cdot ZB_{A,H} ; \forall A \in Q^1, \forall H \in Q^3 \quad 38$$

$$\sum_G WE_{G,H} \cdot ZB_{A,G} \cdot ZB_{A,H} = (1 - YC_{A,H}) XB_H \cdot ZB_{A,H} ; \forall A \in Q^1, \forall H \in Q^3 \quad 39$$

$$\sum_G \sum_H WE_{G,H} \cdot ZB_{A,G} \cdot ZB_{A,H} = \sum_G \sum_H XB_H \cdot ZB_{A,H} ; \forall A \in Q^1 \quad 40$$

Terkait hubungannya dengan set pulau, penentuan WE memerlukan integrasi dengan parameter ZB yang menjelaskan keberadaan titik penginapan dan spot wisata di suatu pulau. Ekuasi (37) menjelaskan bahwa titik G hanya dapat mengkover spot wisata H jika titik G merupakan titik penginapan dan memenuhi kriteria YD . Terkait dengan YD , dapat dilihat pada Ekuasi (21). Ekuasi (38) dan (39) menjelaskan bahwa banyaknya titik penginapan yang dapat mengkover suatu titik H hanya akan terjadi jika H merupakan spot wisata. Ekuasi ini juga membatasi banyak titik penginapan yang dapat mengkover suatu titik H hanya sebanyak satu. Sedangkan Ekuasi (40) membatasi jumlah koveran tidak lebih dari jumlah spot yang ada.

9). Penentuan rute antar spot wisata dan dengan titik penginapan di suatu pulau

Ekuasi (41) mengatur nilai $WF_{G,H,I}$ sebagai variabel keputusan rute antar spot wisata dan dengan titik penginapan di suatu pulau hanya dalam batasan integer binari. Ekuasi (42) membatasi $WF_{G,H,I}$ sakan bernilai 1 jika ketiga titik terkoneksi ($ZD_{G,H} = ZD_{G,I} = ZD_{H,I} = 1$).

Terkait hubungannya dengan set pulau, penentuan WF memerlukan integrasi dengan parameter ZB yang menjelaskan keberadaan titik penginapan dan spot wisata di suatu pulau. Ekuasi (43) membolehkan rute antar titik yang sama dapat terjadi pada titik penginapan. Ekuasi(44) mengatur agar rute akan dimulai dari dan diakhiri di penginapan. Ekuasi (45) menjelaskan rute dari titik H ke I pada $loop$ G hanya akan terjadi jika titik G dipilih sebagai titik penginapan, sedangkan Ekuasi (46) membatasi agar rute tidak terjadi pada spot wisata yang sama.

$$WF_{G,H,I} = \{0,1\} ; \forall G \in Q^3, \forall H \in Q^3, \forall I \in Q^3 \quad 41$$

$$WF_{G,H,I} \leq ZD_{G,H} \cdot ZD_{G,I} \cdot ZD_{H,I} ; \forall G \in Q^3, \forall H \in Q^3, \forall I \in Q^3 \quad 42$$

$$WF_{G,G,G} \leq WE_{G,G} ; \forall G \in Q^3 \quad 43$$

$$\sum_I WF_{G,I,H} = \sum_I WF_{G,H,I} ; \forall G \in Q^3, \forall H \in Q^3 \quad 44$$

$$WF_{G,H,I} \cdot ZB_{A,G} \cdot ZB_{A,H} \cdot ZB_{A,I} \leq YC_{A,G} ; \forall A \in Q^1, \forall G \in Q^3, \forall H \in Q^3, \forall I \in Q^3 \quad 45$$

$$WF_{G,H,H} \cdot ZB_{A,G} \cdot ZB_{A,H} \leq 0 ; \forall A \in Q^1, \forall G \in Q^3, \forall H \in Q^3, H \neq G \quad 46$$

$$WF_{G,H,G} \cdot ZB_{A,G} \leq WE_{G,H} ; \forall A \in Q^1, \forall G \in Q^3, \forall H \in Q^3, H \neq G \quad 47$$

$$WF_{G,G,I} \cdot ZB_{A,G} \leq WE_{G,I} ; \forall A \in Q^1, \forall G \in Q^3, \forall I \in Q^3, I \neq G \quad 48$$

$$\left. \begin{array}{l} WF_{G,H,I} \cdot ZB_{A,I} \leq WE_{G,H} \\ WF_{G,H,I} \cdot ZB_{A,H} \leq WE_{G,I} \\ (WF_{G,H,I} + WF_{G,I,H}) \cdot ZB_{A,G} \cdot ZB_{A,H} \cdot ZB_{A,I} \leq 1 \end{array} \right\} ; \forall A \in Q^1, \forall G \in Q^3, \forall H \in Q^3, H \neq G, \\ \forall I \in Q^3, I \neq G, I \neq H \quad 49$$

$$\sum_I WF_{G,H,I} \cdot ZB_{A,G} \cdot ZB_{A,H} \cdot ZB_{A,I} \leq 1 ; \forall A \in Q^1, \forall G \in Q^3, \forall H \in Q^3 \quad 50$$

$$\sum_I WF_{G,I,H} \cdot ZB_{A,G} \cdot ZB_{A,I} \cdot ZB_{A,H} \leq 1 ; \forall A \in Q^1, \forall G \in Q^3, \forall H \in Q^3 \quad 51$$

$$\sum_H \sum_I WF_{G,H,I} \cdot ZB_{A,G} \cdot ZB_{A,H} \cdot ZB_{A,I} \geq \sum_H WE_{G,H} \cdot ZB_{A,G} \cdot ZB_{A,H} ; \forall A \in Q^1, \forall G \in Q^3 \quad 52$$

$$\sum_H \sum_I WF_{G,H,I} \cdot ZB_{A,G} \cdot ZB_{A,H} \cdot ZB_{A,I} \leq \sum_H WE_{G,H} \cdot ZB_{A,G} \cdot ZB_{A,H} + 1 ; \forall A \in Q^1, \forall G \in Q^3 \quad 53$$

$$\sum_{H=G} WF_{G,H,H} \cdot ZB_{A,G} \cdot ZB_{A,H} \leq 1 - \begin{cases} 1, & WE_{G,H} \cdot ZB_{A,G} \cdot ZB_{A,H} > 1 \\ 0, & \text{lainnya} \end{cases} ; \forall A \in Q^1, \forall G \in Q^3 \quad 54$$

$$\begin{aligned} & \sum_G \sum_H \sum_I WF_{G,H,I} \cdot ZB_{A,G} \cdot ZB_{A,H} \cdot ZB_{A,I} = \\ & \sum_G YC_{A,G} + \sum_G XB_G \cdot ZB_{A,G} - \sum_G YC_{A,G} \cdot XB_G \cdot ZB_{A,G} \end{aligned} ; \forall A \in Q^1 \quad 55$$

Ekuasi (47) sampai (49) membatasi agar rute antar spot-spot wisata dan dengan titik penginapan dapat terjadi hanya jika spot-spot wisata dikover oleh titik penginapan tersebut. Ekuasi (50) dan (51) membatasi agar rute perjalanan antar dua titik tidak terjadi *overlap*. Ekuasi (52) dan (53) menjelaskan batasan jumlah rute yang diperlukan pada suatu *loop*. Ekuasi (54) membatasi agar rute pada titik penginapan yang sama hanya akan terjadi jika tidak ada spot wisata yang dikover. Sedangkan Ekuasi (55) menjelaskan batasan jumlah rute antar spot-spot wisata dan dengan titik penginapan di suatu pulau.

10). Penentuan waktu keberangkatan dari suatu pulau

Ekuasi (56) mengatur nilai $VC_{A,B,J}$ sebagai variabel keputusan waktu keberangkatan dari suatu pulau hanya dalam batasan integer binari. Kondisi $VC_{A,B,J}=1$ dapat terjadi jika terdapat jadwal keberangkatan J dari pelabuhan D (yang berlokasi di pulau A) ke pelabuhan E (yang berlokasi di pulau B). Formulasi kondisi tersebut dapat dilihat pada Ekuasi (57). Sedangkan Ekuasi (58) sampai (60) membatasi jumlah keputusan waktu keberangkatan dari suatu pulau ke pulau lainnya hanya sebanyak satu.

$$VC_{A,B,J} = \{0,1\} ; \forall A \in Q^1, \forall B \in Q^1, \forall J \in Q^4 \quad 56$$

$$VC_{A,B,J} \leq \sum_D \sum_{E \neq D} WA_{D,E} \cdot ZA_{A,D} \cdot ZA_{B,E} \cdot VB_{D,E,J} ; \forall A \in Q^1, \forall B \in Q^1, B \neq A, \forall J \in Q^4 \quad 57$$

$$\sum_J VC_{A,B,J} \leq 1 ; \forall A \in Q^1, \forall B \in Q^1 \quad 58$$

$$\sum_{B \neq A} \sum_J VC_{A,B,J} = 1 ; \forall A \in Q^1 \quad 59$$

$$\sum_A \sum_B \sum_J VC_{A,B,J} = N^1 \quad 60$$

11). Penentuan akumulasi waktu di suatu pulau

Akumulasi waktu di suatu pulau TT (lihat Ekuasi 61) bergantung pada:

- lamanya perjalanan ke pulau tersebut dari pulau lainnya,
- lamanya perjalanan dari titik kedatangan ke titik-titik penginapan hingga ke titik lamanya perjalanan dari titik penginapan ke spot-spot wisata dan kembali ke titik penginapan, dan
- lamanya waktu proses di pelabuhan-pelabuhan (seperti load-unload angkutan), waktu kunjungan di spot-spot wisata sesuai yang direncanakan, dan lamanya waktu proses di penginapan (seperti *check-in*) sesuai parameter yang diberikan.

$$TT_A = \left. \begin{aligned} & \sum_{B \neq A} \sum_D \sum_{E \neq D} WA_{D,E} \cdot ZA_{B,D} \cdot ZA_{A,E} \cdot TA_{D,E} + \sum_G \sum_H WB_{G,H} \cdot ZB_{A,G} \cdot ZB_{A,H} \cdot TB_{G,H} + \\ & \sum_D \sum_G WC_{D,G} \cdot ZA_{A,D} \cdot ZB_{A,G} \cdot TC_{D,G} + \sum_G \sum_D WD_{G,D} \cdot ZB_{A,G} \cdot ZA_{A,D} \cdot TD_{G,D} + \\ & \sum_G \sum_H \sum_I WF_{G,H,I} \cdot ZB_{A,G} \cdot ZB_{A,H} \cdot ZB_{A,I} \cdot TB_{H,I} + \sum_D YA_{A,D} \cdot ZA_{A,D} \cdot TE_D + \\ & \sum_D YB_{A,D} \cdot ZA_{A,D} \cdot TE_D + \sum_G ZB_{A,G} \cdot XB_G \cdot TF_G + \sum_G YC_{A,G} \cdot ZB_{A,G} \cdot XC_G \cdot TF_G \end{aligned} \right\} ; \forall A \in Q \quad 61$$

Dalam formulasi TT , terdapat variabel tambahan (XC) yang diperlukan untuk menjelaskan suatu titik yang tidak termasuk spot wisata, tetapi diakomodir sebagai penginapan alternatif. Formulasi XC dapat dilihat pada Ekuasi (62) berikut.

$$XC_G = \begin{cases} 1, & XA_G = 1, XB_G = 0 \\ 0, & \text{lainnya} \end{cases} ; \forall G \in Q^3 \quad 62$$

12). Penentuan waktu mulai perjalanan dari setiap urutan pulau

Keputusan mengenai waktu mulai perjalanan dari suatu pulau TTS bergantung pada pemilihan waktu keberangkatan ke pulau tujuan VC (lihat Ekuasi 66), waktu keberangkatan dari pulau sebelumnya, dan jumlah waktu perjalanan TT yang dibutuhkan untuk menyelesaikan kunjungan ke spot-spot di pulau tersebut (lihat Ekuasi 68). Nilai TTS berupa integer general dengan maksimum tidak melebihi maksimum parameter jadwal/ waktu keberangkatan (lihat Ekuasi 64 dan 65). Dalam model ini, waktu keberangkatan dari pulau urutan pertama merupakan parameter yang diketahui sebesar S (lihat Ekuasi 67).

$$TTS_A = INT \quad ; \forall A \in Q^1 \quad 63$$

$$0 \leq TTS_A \leq Max(VA_J) \quad ; \forall A \in Q^1 \quad 64$$

$$TTS_A = \sum_{B \neq A} VC_{A,B,J} \cdot VA_J \quad ; \forall A \in Q^1 \quad 65$$

$$TTS_A \leq S \quad ; \forall A \in Q^5, A = 1 \quad 66$$

$$TTS_A + TT_B - TTS_B \leq (1 - \sum_J VC_{A,B,J}) \cdot Max(VA_J) \quad ; \forall A \in Q^1, \forall B \in Q^1, B \neq A, B > 1 \quad 67$$

f. Percobaan Numerikal dan Pembahasan

Berdasarkan parameter yang ditentukan (lihat Bagian 2), model diprogram dengan software bantu (Lingo) dan dijalankan pada komputer standar sesuai empat belas skenario yang direncanakan. Hasil percobaan diperlihatkan pada Tabel 1 berupa waktumulai perjalanan dari pulau pertama, waktu perjalanan darat, waktu perjalanan laut, waktu menunggu, dan lama perjalanan (makespan/ timespan).

Dari hasil percobaan, dapat dijelaskan bahwa makespan minimum membagi hari-hari keberangkatan menjadi tiga kelompok. Kelompok pertama adalah hari Senin dengan makespan sebesar 148.97 jam. Kelompok kedua adalah hari Selasa, Kamis, Sabtu, dan Minggu dengan makespan sebesar 139.96 jam. Kelompok ketiga adalah hari Rabu dan Jumat dengan makespan sebesar 145.93 jam. Hasil yang sama juga terlihat pada variabel lamanya perjalanan laut dan waktu mulai keberangkatan dari pulau pertama.

Namun, nilai perjalanan darat untuk setiap hari berbeda ketika dinaikkan waktu kover titik akomodasi (AP). Misalnya pada kelompok hari pertama (Senin), ketika $MaxC$ setiap AP diberi nilai minimum (0.9 jam), N10 dan N8 diseleksi sebagai AP. N10 merupakan POI dengan fasilitas akomodasi, sedangkan N8 merupakan titik akomodasi alternatif yang diseleksi untuk mengkover N9, N12, dan N11. Namun ketika nilai $MaxC$ setiap AP dinaikkan dengan ekstrim (1.5 jam), kemampuan N8 digantikan oleh N10. Hal ini dapat dijelaskan bahwa model beradaptasi untuk mengurangi jumlah titik akomodasi yang diseleksi. Semakin tinggi kemampuan AP dalam mengkover POI-POI, maka semakin sedikit jumlah AP yang akan diseleksi. Sehingga, semakin kecil waktu perjalanan darat yang akan ditempuh. Fenomena tersebut juga terjadi pada kelompok-kelompok hari lainnya.

Berdasarkan percobaan tersebut, membuktikan bahwa model memiliki konsistensi dan adaptabilitas untuk setiap perubahan parameter berdasarkan skenario yang diberikan. Model divalidasi dengan menggunakan komputer spesifikasi standar. Tipe penyelesaian (solver) yang digunakan, yaitu *global solver*. Dengan spesifikasi dan tipe penyelesaian tersebut, kemampuan *running* software antara 3.9 sampai 12.2 menit.

Tabel 1. Hasil percobaan numerikal berdasarkan empat belas skenario

Skenario	Rute	Waktu Mulai dari Pulau 1 (jam)	Perjalanan Darat (jam)	Perjalanan Laut (jam)	Menunggu (jam)	Makespan (jam)
1 Berangkat Senin, MaxC 0.9 jam	N1-CP2-CP3-N2-CP3-CP5-N6-N4-N5-N7-N4-CP5-CP10-N13-CP10-CP9-N10-N8-N9-N12-N11-N8-CP9-CP2-N1	12.00	15.80	12.56	120.61	148.97
2 Berangkat Senin, MaxC 1.5 jam	N1-CP2-CP3-N2-CP3-CP5-N6-N5-N7-N6-CP5-CP10-N13-CP10-CP9-N10-N12-N11-N9-N10-CP9-CP2-N1	12.00	14.68	12.56	121.73	148.97
3 Berangkat Selasa, MaxC 0.9 jam	N1-CP2-CP3-N2-CP3-CP8-N10-N8-N9-N12-N11-N8-CP9-CP10-N13-CP10-CP5-N6-N4-N5-N7-N4-CP5-CP2-N1	6.00	15.75	13.58	110.63	139.96
4 Berangkat Selasa, MaxC 1.5 jam	N1-CP2-CP3-N2-CP3-CP8-N10-N12-N11-N9-N10-CP9-CP10-N13-CP10-CP5-N6-N5-N7-N6-CP5-CP2-N1	6.00	14.63	13.58	111.75	139.96
5 Berangkat Rabu, MaxC 0.9 jam	N1-CP2-CP9-N10-N8-N9-N12-N11-N8-CP9-CP10-N13-CP10-CP5-N6-N4-N5-N7-N4-CP4-CP3-N2-CP3-CP2-N1	12.00	15.87	12.30	117.76	145.93
6 Berangkat Rabu, MaxC 1.5 jam	N1-CP2-CP9-N10-N12-N11-N9-N10-CP9-CP10-N13-CP10-CP5-N6-N5-N7-N6-CP4-CP3-N2-CP3-CP2-N1	12.00	14.79	12.30	118.84	145.93
7 Berangkat Kamis, MaxC 0.9 jam	N1-CP2-CP3-N2-CP3-CP8-N10-N8-N9-N12-N11-N8-CP9-CP10-N13-CP10-CP5-N6-N4-N5-N7-N4-CP5-CP2-N1	6.00	15.75	13.58	110.63	139.96
8 Berangkat Kamis, MaxC 1.5 jam	N1-CP2-CP3-N2-CP3-CP8-N10-N12-N11-N9-N10-CP9-CP10-N13-CP10-CP5-N6-N5-N7-N6-CP5-CP2-N1	6.00	14.63	13.58	111.75	139.96
9 Berangkat Jumat, MaxC 0.9 jam	N1-CP2-CP9-N10-N8-N9-N12-N11-N8-CP9-CP10-N13-CP10-CP5-N6-N4-N5-N7-N4-CP4-CP3-N2-CP3-CP2-N1	12.00	15.87	12.30	117.76	145.93
10 Berangkat Jumat, MaxC 0.9 jam	N1-CP2-CP9-N10-N12-N11-N9-N10-CP9-CP10-N13-CP10-CP5-N6-N5-N7-N6-CP4-CP3-N2-CP3-CP2-N1	12.00	14.79	12.30	118.84	145.93
11 Berangkat Sabtu, MaxC 1.5 jam	N1-CP2-CP3-N2-CP3-CP8-N10-N8-N9-N12-N11-N8-CP9-CP10-N13-CP10-CP5-N6-N4-N5-N7-N4-CP5-CP2-N1	6.00	15.75	13.58	110.63	139.96
12 Berangkat Sabtu, MaxC 0.9 jam	N1-CP2-CP3-N2-CP3-CP8-N10-N12-N11-N9-N10-CP9-CP10-N13-CP10-CP5-N6-N5-N7-N6-CP5-CP2-N1	6.00	14.63	13.58	111.75	139.96
13 Berangkat Minggu, MaxC 1.5 jam	N1-CP2-CP3-N2-CP3-CP8-N10-N8-N9-N12-N11-N8-CP9-CP10-N13-CP10-CP5-N6-N4-N5-N7-N4-CP5-CP2-N1	6.00	15.75	13.58	110.63	139.96
14 Berangkat Minggu, MaxC 0.9 jam	N1-CP2-CP3-N2-CP3-CP8-N10-N12-N11-N9-N10-CP9-CP10-N13-CP10-CP5-N6-N5-N7-N6-CP5-CP2-N1	6.00	14.63	13.58	111.75	139.96

Keterangan:

N = titik (meliputi: POI dengan fasilitas akomodasi, POI tanpa fasilitas akomodasi, dan AP)

CP = titik koneksi antar pulau

4. KESIMPULAN

Model optimasi masalah minimisasi perencanaan rute wisata insular ini dikembangkan dalam formulasi integer non-linear programming. Model dirancang dengan mempertimbangkan faktor klaster pulau, rute dan jadwal keberangkatan di setiap titik koneksi, dan seleksi titik

akomodasi. Validasi model dilakukan melalui percobaan numerikal untuk menguji konsistensi dan adaptabilitas nilai keluaran model terhadap perubahan parameter yang diberikan. Hasil menunjukkan bahwa model memiliki adaptabilitas dan konsisten terhadap perubahan parameter berdasarkan empat belas skenario yang diberikan. Skenario percobaan dirancang berdasarkan variasi hari keberangkatan dan maksimum waktu kover titik akomodasi.

Model ini dapat digunakan bagi pengambil keputusan, baik pada industri (agen) travel/tour atau wisatawan, untuk menentukan rute wisata di daerah kepulauan dengan mempertimbangkan hari keberangkatan dan maksimum waktu kover titik akomodasi. Model ini dapat berjalan baik jika sistem masalah yang dihadapi sesuai dengan batasan yang ditentukan. Untuk penelitian ke depan, karakteristik masalah akan difokuskan pada pengkoveran tunggal (single cover) suatu pulau dan rute bypass antar pulau, serta penggunaannya pada tim atau kelompok.

UCAPAN TERIMA KASIH

Ucapan terima kasih disampaikan kepada Fakultas Teknik Universitas Pattimura Ambon yang telah mendanai penelitian ini.

DAFTAR PUSTAKA

- Abbaspour, R. A., & Samadzadegan, F. (2011). Time-dependent personal tour planning and scheduling in metropolises. *Expert Systems with Applications*, 38(10), 12439–12452. <https://doi.org/10.1016/j.eswa.2011.04.025>
- Afifudin, M. T. (2021), “InsularTTDP”, Mendeley Data, V1, doi: 10.17632/39yhpf7ct.1
- Afifudin, M. T., & Sahar, D. P. (2020). AN INTEGER PROGRAMMING APPROACH FOR SINGLE TRUCK ROUTING-AND-SCHEDULING PROBLEMS TO ISLANDS WITH TIME-VARYING FERRY SCHEDULES. *Journal of Industrial Engineering & Management (JIEM)*, 5(2), 53–61. <https://doi.org/https://doi.org/10.33536/jiem.v5i2.548>
- Anagnostopoulos, A., Atassi, R., Fazzino, A., Silvestri, F., & Becchetti, L. (2016). Tour recommendation for groups. *Data Mining and Knowledge Discovery*. <https://doi.org/10.1007/s10618-016-0477-7>
- Angelelli, E., Archetti, C., & Vindigni, M. (2014). The Clustered Orienteering Problem. *European Journal of Operational Research*. <https://doi.org/10.1016/j.ejor.2014.04.006>
- Baniasadi, P., Foumani, M., Smith-Miles, K., & Ejev, V. (2020). A transformation technique for the clustered generalized traveling salesman problem with applications to logistics. *European Journal of Operational Research*, 285(2), 444–457. <https://doi.org/10.1016/j.ejor.2020.01.053>
- Divsalar, A., Vansteenwegen, P., & Cattrysse, D. (2013). A variable neighborhood search method for the orienteering problem with hotel selection. *International Journal of Production Economics*, 145(1), 150–160. <https://doi.org/10.1016/j.ijpe.2013.01.010>
- Garcia, A., Arbelaitz, O., Vansteenwegen, P., Souffriau, W., & Linaza, M. T. (2010). Hybrid approach for the public transportation time dependent orienteering problem with time windows. *Lecture Notes in Computer Science (Including Subseries Lecture Notes in Artificial Intelligence and Lecture Notes in Bioinformatics)*, 6077 LNAI(PART 2), 151–158. https://doi.org/10.1007/978-3-642-13803-4_19
- Gavalas, D., Konstantopoulos, C., Mastakas, K., & Pantziou, G. (2014). A survey on algorithmic approaches for solving tourist trip design problems. *Journal of Heuristics*, 20(3), 291–328. <https://doi.org/10.1007/s10732-014-9242-5>
- Geem, Z. W., Tseng, C. L., & Park, Y. (2005). Harmony search for generalized orienteering problem: Best touring in China. *Lecture Notes in Computer Science*, 3612(PART III), 741–750. https://doi.org/10.1007/11539902_91
- González, D. S. A., Olivares-benitez, E., & Miranda, P. A. (2017). Insular Biobjective Routing with Environmental Considerations for a Solid Waste Collection System in Southern Chile. *Advances in Operations Research*, 2017(2), Article number 4093689. <https://doi.org/10.1155/2017/4093689>
- Gunawan, A., Ng, K. M., Kendall, G., & Lai, J. (2018). An iterated local search algorithm for

- the team orienteering problem with variable profits. *Engineering Optimization*, 50(7), 1148–1163. <https://doi.org/10.1080/0305215X.2017.1417398>
- Gunawan, A., Yuan, Z., & Lau, H. C. (2014). A mathematical model and metaheuristics for time dependent orienteering problem. *PATAT 2014 - Proceedings of the 10th International Conference on the Practice and Theory of Automated Timetabling, August*, 202–217.
- Laporte, G., & Palekar, U. (2002). Some applications of the clustered travelling salesman problem. *Journal of the Operational Research Society*, 53(9), 972–976. <https://doi.org/10.1057/palgrave.jors.2601420>
- Laporte, Gilbert, Asef-Vaziri, A., & Sriskandarajah, C. (1996). Some applications of the generalized travelling salesman problem. *Journal of the Operational Research Society*, 47(12), 1461–1467. <https://doi.org/10.1057/jors.1996.190>
- Lim, K. H., Chan, J., Karunasekera, S., & Leckie, C. (2018). Tour recommendation and trip planning using location-based social media: a survey. *Knowledge and Information Systems*. <https://doi.org/10.1007/s10115-018-1297-4>
- Malandraki, C., & Daskin, M. S. (2008). Time Dependent Vehicle Routing Problems: Formulations, Properties and Heuristic Algorithms. *Transportation Science*, 26(3), 185–200. <https://doi.org/10.1287/trsc.26.3.185>
- Miranda, P. A., Blazquez, C. A., Obrique, C., Maturana-ross, J., & Gutierrez-jarpa, G. (2018). THE BI-OBJECTIVE INSULAR TRAVELING SALESMAN PROBLEM WITH MARITIME AND GROUND TRANSPORTATION COSTS. *European Journal of Operational Research*. <https://doi.org/10.1016/j.ejor.2018.05.009>
- Miranda, P. A., Blazquez, C. A., Vergara, R., & Weitzler, S. (2015). A novel methodology for designing a household waste collection system for insular zones. *Transportation Research Part E*, 77, 227–247. <https://doi.org/10.1016/j.tre.2015.02.019>
- Vansteenwegen, P., Souffriau, W., & Sörensen, K. (2012). The travelling salesperson problem with hotel selection. *Journal of the Operational Research Society*, 63(2), 207–217. <https://doi.org/10.1057/jors.2011.18>
- Vansteenwegen, Pieter, Souffriau, W., & Oudheusden, D. Van. (2011). The orienteering problem: A survey. In *European Journal of Operational Research* (Vol. 209, Issue 1, pp. 1–10). Elsevier B.V. <https://doi.org/10.1016/j.ejor.2010.03.045>
- Vansteenwegen, Pieter, & Van Oudheusden, D. (2007). The Mobile Tourist Guide: An OR Opportunity. *OR Insight*, 20(3), 21–27. <https://doi.org/10.1057/ori.2007.17>
- Verbeeck, C., Sörensen, K., Aghezzaf, E. H., & Vansteenwegen, P. (2014). A fast solution method for the time-dependent orienteering problem. *European Journal of Operational Research*, 236(2), 419–432. <https://doi.org/10.1016/j.ejor.2013.11.038>