

PENERAPAN ALGORITMA BRANCH AND BOUND UNTUK OPTIMASI RUTE WISATA DI KALIMANTAN TIMUR BERDASARKAN TRAVELING SALESMAN PROBLEM**Stefania Sесilia G. Witin**

Program Studi Matematika, FMIPA, Universitas Mulawarman, Samarinda, Indonesia

e-mail: stevania881@gmail.com***Welly Dona Permatasari**

Program Studi Matematika, FMIPA, Universitas Mulawarman, Samarinda, Indonesia

e-mail: wellydona31@gmail.com**Nur Aminah**

Program Studi Matematika, FMIPA, Universitas Mulawarman, Samarinda, Indonesia

e-mail: nuraminah3010@gmail.com**Pasia Rande**

Program Studi Matematika, FMIPA, Universitas Mulawarman, Samarinda, Indonesia

e-mail: pasiarande@gmail.com**Fidia Deny Tisna Amijaya**

Program Studi Matematika, FMIPA, Universitas Mulawarman, Samarinda, Indonesia

e-mail: fidiadta@fmipa.unmul.ac.id***Desi Febriani Putri**

Program Studi Matematika, FMIPA, Universitas Mulawarman, Samarinda, Indonesia

e-mail: desifebrianip@fmipa.unmul.ac.id**Abstrak**

Kalimantan Timur merupakan daerah yang memiliki potensi wisata tinggi, terutama dengan adanya pembangunan Ibu Kota Nusantara (IKN). Untuk mendukung efisiensi kunjungan wisata, dibutuhkan rute perjalanan yang optimal agar waktu dan biaya yang digunakan dapat diminimalkan. Penelitian ini membahas penerapan algoritma *Branch and Bound* dalam menyelesaikan permasalahan *Travelling Salesman Problem* (TSP) guna menentukan rute wisata terpendek di Kalimantan Timur. Algoritma ini bekerja dengan prinsip pencabangan dan pembatasan untuk mengevaluasi semua kemungkinan jalur, lalu memilih solusi dengan jarak tempuh minimum. Data jarak antar lokasi wisata diperoleh dari *Google Maps*, kemudian dimodelkan dalam bentuk graf berbobot tak berarah. Dari hasil penelitian ini diperoleh rute terpendeknya adalah Bandara Sepinggan Balikpapan → Hutan Mangrove Margomulyo → Pantai Melaw → Samboja Lodge → Bukit Bingkirai → Batu Dinding Long Melaha → Taman Ekologis Anang Hasyim → Bandara Sepinggan Balikpapan dengan total jarak tempuh 148,6 km.

Kata Kunci: Algoritma Branch And Bound, Graf Berbobot, Rute Wisata, Traveling Salesman Problem.

Abstract

East Kalimantan is an area with high tourism potential, especially with the development of the Indonesian Capital City (IKN). To support the efficiency of tourist visits, an optimal travel route is needed so that the time and costs used can be minimized. This study discusses the application of the *Branch and Bound* algorithm in solving the *Traveling Salesman Problem* (TSP) to determine the shortest tourist route in East Kalimantan. This algorithm works with the principle of branching and restrictions to evaluate all possible paths, then choose a solution with a minimum travel distance. Data on the distance between tourist locations was obtained from *Google Maps*, then modeled in the form of an undirected weighted graph. From the results of this study, the shortest route is Sepinggan Balikpapan Airport → Margomulyo Mangrove Forest → Melaw Beach → Samboja Lodge → Bingkirai Hill → Batu Dinding Long Melaha → Anang Hasyim Ecological Park → Sepinggan Balikpapan Airport with a total distance of 148.6 km.

Keywords: Branch And Bound Algorithm, Weighted Graph, Tourist Route, Traveling Salesman Problem

PENDAHULUAN

Keberadaan Ibu Kota Nusantara (IKN) di Kalimantan menjadi magnet baru yang menarik perhatian tidak hanya sebagai pusat pemerintahan masa depan Indonesia, tetapi juga sebagai destinasi wisata *modern* yang berpadu dengan keindahan alam. Dengan konsep kota hijau dan berkelanjutan, IKN menghadirkan daya tarik bagi wisatawan yang ingin melihat langsung perkembangan ibu kota baru sekaligus menikmati pesona alam Kalimantan. Setelah mengunjungi IKN, wisatawan dapat melanjutkan perjalanan ke berbagai destinasi eksotis seperti Danau Jempang, Batu Dinding, Taman Ekologis Anang Hasyim, Bukit Bingkirai, Samboja Lodge, Pantai Melawai, dan Hutan Mangrove Margomulyo (Gurnitowati, 2013).

Objek wisata merupakan tempat yang sering dikunjungi untuk hiburan atau melepas lelah dari aktivitas sehari-hari. Dalam kegiatan wisata, efisiensi waktu dan biaya sangat dibutuhkan, terutama dalam menentukan rute perjalanan antar lokasi wisata. Oleh karena itu, diperlukan rute terpendek untuk mengunjungi seluruh objek wisata yang ada (Gurnitowati, 2013). Permasalahan ini dapat dimodelkan sebagai *Traveling Salesman Problem* (TSP), yaitu mencari rute dengan jarak minimum dari titik awal ke semua titik tujuan dan kembali ke titik awal, di mana setiap titik hanya dilalui sekali (Oeitama, 2024). TSP dapat dimodelkan dengan graf dan diselesaikan dengan berbagai algoritma, seperti *Nearest Neighbor*, *Cheapest Insertion Heuristic*, dan *Branch and Bound*. Salah satu algoritma yang banyak digunakan untuk menyelesaikan masalah TSP adalah Algoritma *Branch and Bound* karena mampu memberikan hasil optimal secara teliti dan efisien, terutama dalam penyelesaian masalah program integer (Angeline, 2014).

Beberapa penelitian sebelumnya telah mengkaji penerapan algoritma *Branch and Bound* pada berbagai kasus. Riyanti (2004) menyatakan bahwa dalam program aplikasi yang dibuat, algoritma ini belum terbukti efektif dan efisien dalam pencarian rute wisata. (Gurnitowati, 2014) menunjukkan bahwa algoritma *Branch and Bound* dapat menyelesaikan persoalan TSP pada objek wisata di Semarang dengan jarak minimum 53,2 km. Angeline (2014) juga membuktikan bahwa metode ini efektif dalam mengoptimalkan jumlah produksi pada CV. XYZ

dengan pendapatan rata-rata Rp. 53.292.000,00 per bulan. Penelitian (Chandra, 2015) membahas proses branching dan bounding menggunakan matriks, sedangkan (Simarmata, 2020) membuktikan bahwa pada persoalan pedagang keliling diperoleh hasil optimal dengan lima percabangan. (Herdhiansyah, 2023) menggunakan metode ini untuk optimasi rute distribusi beras komersial Bulog di Kendari, dan hasilnya menunjukkan penurunan jarak tempuh dari 424,83 km menjadi 349,59 km

Penelitian ini bertujuan untuk membangun model graf rute wisata di Kalimantan Timur dalam bentuk TSP, menyelesaikannya menggunakan algoritma *Branch and Bound*, serta menentukan jarak tempuh optimal. Penelitian ini diharapkan dapat memberikan kontribusi dalam perencanaan perjalanan wisata yang efisien dan mendukung pengembangan potensi wisata Kalimantan Timur secara berkelanjutan

TINJAUAN PUSTAKA

RISET OPERASI

Riset operasi pertama kali berkembang di kalangan militer pada Perang Dunia ke II. Untuk mengatasi sumber daya yang terbatas dengan menggunakan metode kuantitatif yang digunakan para ilmuwan kemudian dinamai riset operasi. Setelah perang dunia berakhir dan melihat keberhasilan dari Riset Operasi militer, maka kalangan industri tertarik pada bidang ini. (Fauzi dan Anwar, 2019).

Secara umum, riset operasi didefinisikan suatu metode ilmiah yang menggunakan analisis matematika dan statistik untuk mengambil keputusan optimal dalam menghadapi masalah kompleks. Mengoptimalkan hasil berarti memaksimumkan agar dapat menguntungkan atau meminimumkan sesuatu yang merugikan (Maswarni dkk., 2019).

Linear programming (LP), atau program linear merupakan salah satu teknik yang dapat membantu dalam pengambilan keputusan alokasi sumberdaya-sumberdaya yang terbatas dan langka secara optimum. Sumber daya terbatas tersebut jika dalam satu industri atau perusahaan meliputi semua faktor-faktor produksi seperti; mesin-mesin, tenaga kerja, bahan mentah, modal, teknologi dan informasi. Secara umum pemrograman linear memiliki empat

hal yaitu problem yang dijumpai adalah maksimisasi atau minimisasi sebagai tujuannya. Kemudian memiliki “*constraint*”, atau fungsi batasan untuk mencapai tujuan yang ingin dicapai (fungsi tujuan). Lalu harus tersedia alternatif untuk menyelesaikan masalah dan hubungan matematis adalah linier (Purba dan Ahyaningsih, 2020).

Bentuk standar dari model-model linear program terdiri dari beberapa fungsi antara lain fungsi tujuan, dan fungsi batasan-batasan. Fungsi tujuan adalah fungsi yang menggambarkan tujuan dari pengalokasian secara optimal sumberdaya-sumberdaya untuk memperoleh keuntungan maksimal, atau biaya yang paling minimal. Sedangkan fungsi batasan adalah kapasitas yang tersedia yang akan dialokasikan secara optimal ke berbagai kegiatan-kegiatan operasi perusahaan (Syarifuddin, 2011). Menurut Siang (2014), bentuk umum dari pemrograman linier integer adalah sebagai berikut.

Optimalkan fungsi:

$$f(x_1, x_2, x_n) = c_1x_1 + c_2x_2 + \dots + c_nx_n$$

dengan kendala:

$$a_{11}x_1 + a_{12}x_2 + \dots + a_{1n}x_n = b_1$$

$$a_{21}x_1 + a_{22}x_2 + \dots + a_{2n}x_n = b_2$$

⋮

$$a_{m1}x_1 + a_{m2}x_2 + \dots + a_{mn}x_n = b_n$$

$$x_1, x_2, \dots, x_n \in \mathbb{Z} \geq 0$$

METODE BRANCH AND BOUND

Metode *Branch and Bound* adalah algoritma yang digunakan untuk menemukan solusi optimal atau mendekati optimal dalam masalah optimasi. Prinsip utamanya meliputi “*branching*”, yaitu membagi masalah besar menjadi sub-masalah yang lebih mudah dikelola, serta “*bounding*”, yaitu menetapkan batas bawah dan batas atas untuk mempersempit pencarian solusi optimal (Azzahrha dkk., 2021). Menurut Safitri dkk (2024) menjelaskan langkah-langkah untuk menjalankan algoritma *Branch and Bound* ialah sebagai berikut:

Dimisalkan suatu permasalahan digambarkan ke dalam suatu matriks A dengan ukuran $n \times n$. a_{ij} adalah nilai perjalanan dari titik i ke titik j dengan $i = j$ rute yang tidak mungkin dilewati (∞).

Reduksi kolom dan baris matriks A dengan mengurangi nilai a_{ij} dengan nilai minimal pada baris atau kolom tersebut, sedemikian sehingga diperoleh matriks tereduksi $A(t)$ dengan nilai non negatif

serta terdapat nilai minimal 0 disetiap baris dan kolomnya.

Selanjutnya, total nilai pereduksi baris dan kolom sehingga diperoleh nilai (cost) titik awal $c(b)$.

Tentukan titik awal (i) yang diinginkan, lalu pilih salah satu titik tujuan (j) dan kemudian modifikasi matriks tereduksi dengan mengubah seluruh nilai baris i dan seluruh nilai kolom j menjadi (∞).

Selanjutnya, mencari cari nilai (cost) titik tujuan dengan persamaan (1).

$$c(d) = c(b) + (a_{ij}) + r \quad (1)$$

dengan:

$c(b)$ = Nilai estimasi titik awal,

$c(d)$ = Nilai perjalanan dari titik awal menuju titik tujuan,

a_{ij} = nilai elemen baris i kolom j pada matriks tereduksi $A(t)$, dan

r = jumlah pereduksi setelah matriks di modifikasi.

Lakukan langkah 1 hingga langkah 5 ke seluruh titik tujuan yang terhubung dengan titik awal. Titik tujuan dengan nilai (cost) perjalanan minimal akan dipilih sebagai rute. Reduksi kembali matriks (sesuai rute yang dipilih) dengan baris dan kolom yang telah diubah dan ulangi langkah 4 dengan titik awal adalah titik tujuan sebelumnya hingga tersisa 1 titik selain titik awal.

TEORI GRAF

Pada tahun 1736, ilmuwan rusia bernama Leonhard Euler melakukan penelitian pada kasus jembatan di Königsberg. Kota Königsberg memiliki tujuh jembatan yang menghubungkan dua pulau dan dua daratan utama sehingga apakah mungkin melalui tujuh buah jembatan itu masing-masing tepat satu kali dan kembali ke tempat semula. Permasalahan jembatan Königsberg ini merupakan salah satu penerapan graf, dengan titik menyatakan daratan dan sisi menyatakan jembatan yang menghubungkan kedua daratan berbeda. Teori konjektur empat warna, yang menyatakan bahwa untuk mewarnai sebuah atlas cukup dengan menggunakan empat macam warna sedemikian hingga tiap negara yang berbatasan akan memiliki warna yang berbeda (Maulani, 2023).

Suatu graf G terdiri dari suatu himpunan tak kosong yang masingmasing unsurnya disebut titik (*vertex*) dan suatu himpunan pasangan tak berurutan dari titik-titik tersebut yang disebut sisi (*edge*). Di sini

G melambangkan suatu graf. Himpunan titik di graf G dinyatakan dengan dan himpunan sisi di graf G dinyatakan dengan $E(G)$. Jika banyak titik dan banyak sisi di G terhingga, maka G disebut graf terhingga. Dua sisi atau lebih yang menghubungkan satu pasang titik disebut sisi rangkap (*multiple edges*). Menurut Wibisono (2008) graf didefinisikan sebagai pasangan himpunan terurut dengan notasi (V, E) , dan V adalah himpunan yang memuat elemen-elemen titik (*vertex*) yang dinotasikan dengan $v_1, v_2, \dots, v_n$ serta E adalah himpunan yang memuat elemen-elemen sisi yang dinotasikan dengan $e_1, e_2, \dots, e_n$ (Rahayuningsih, 2011).

TRAVELLING SALESMAN PROBLEM

Travelling Salesman Problem (TSP) adalah masalah dalam teori graf dengan tujuan untuk menentukan rute optimal (paling pendek) bagi *salesman* yang harus berkunjung ke setiap titik satu kali, kemudian kembali ke titik awal (Lattan dkk., 2021). Pada konteks ini, titik (*vertex*) dalam graf mewakili kota atau lokasi yang dikunjungi, sedangkan sisi (*edge*) dalam graf melambangkan jalan yang menjadi penghubung antar lokasi kota. Bobot pada sisi mewakili jarak antara dua kota atau lokasi yang berbeda. TSP dapat diselesaikan dengan banyak metode seperti metode Optimasi Heuristik, metode *Nearest Neighbour*, metode *Branch and Bound* dan lain sebagainya (Nur & Rahadjeng, 2021).

TSP dapat dimodelkan secara matematika dengan cara sebagai berikut.

Fungsi tujuan:

$$\min f(s_{ij}) = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n (v_{ij})(s_{ij}) \quad (2)$$

dengan fungsi batasan

$$\sum_{j=1}^n (v_{ij}) = 1, \quad i = 1, 2, \dots, n; \quad (3)$$

$$\sum_{i=1}^n (s_{ij}) = 1, \quad j = 1, 2, \dots, n; \quad (4)$$

$$s_{ij} \in \{0, 1\}, \quad i, j = 1, 2, \dots, n; \quad (5)$$

Keterangan:

- i = titik awal
- j = titik tujuan
- v_{ij} = jarak antara titik i dan titik j dan
- s_{ij} = perpindahan dari titik i menuju titik j

Angka 1 melambangkan suatu titik yang terjadi perpindahan dan angka 0 berarti suatu titik tidak

terjadi perpindahan. Hal ini terjadi pada perpindahan antara titik satu ke titik lainnya (Santoso, 2017).

DESTINASI WISATA

Kalimantan Timur memiliki berbagai destinasi wisata yang semakin menarik perhatian seiring dengan pembangunan Ibu Kota Nusantara (IKN). Salah satu destinasi yang berpotensi berkembang adalah Danau Jempang di Kutai Barat, yang terkenal dengan keindahan alamnya dan sebagai bagian dari ekosistem Sungai Mahakam (Ardiansyah, 2020). Selain itu, Batu Dinding di Kutai Kartanegara menawarkan panorama tebing alami yang unik dan menjadi daya tarik bagi wisatawan pecinta petualangan (Rahman, 2019). Taman Ekologis Anang Hasyim di Penajam Paser Utara juga menjadi destinasi edukasi yang mengusung konsep wisata berbasis lingkungan dan konservasi (Sari & Wijaya, 2021).

Selain wisata alam, Kalimantan Timur juga memiliki daya tarik ekowisata seperti Bukit Bangkirai dengan jembatan gantungnya yang ikonik, serta Samboja Lodge yang berfokus pada rehabilitasi orangutan dan beruang madu (Wahyudi, 2018). Di kawasan pesisir, Pantai Melawai di Balikpapan menawarkan keindahan matahari terbenam yang eksotis, sementara Hutan Mangrove Margomulyo berperan penting dalam konservasi ekosistem pesisir dan menarik wisatawan yang tertarik dengan wisata alam berbasis edukasi (Rahman, 2019). Menurut Wahyudi (2018), pengembangan infrastruktur dan strategi promosi berbasis digital menjadi faktor utama dalam meningkatkan daya tarik wisatawan ke destinasi-destinasi ini. Namun, tantangan seperti aksesibilitas yang belum merata dan kurangnya integrasi rute wisata masih menjadi kendala dalam optimalisasi potensi wisata di Kalimantan Timur.

METODE PENELITIAN

RANCANGAN PENELITIAN

Penelitian ini menggunakan pendekatan kuantitatif mengenai rute perjalanan wisata yang ada di Kalimantan Timur. Data yang digunakan dalam penelitian ini merupakan data sekunder yang diperoleh berdasarkan hasil pemetaan dari *Google Maps*.

WAKTU DAN TEMPAT PENELITIAN

Penelitian ini dilaksanakan pada bulan Januari 2025 hingga bulan Maret 2025. Pengambilan data dilakukan berdasarkan hasil pemetaan dari *Google Maps*. Pengolahan data dilakukan di Laboratorium Matematika Dasar, Program Studi Matematika, Jurusan Matematika, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Mulawarman yang beralamatkan di Jalan Barong Tongkok No. 4 Kampus Gunung Kelua, Samarinda.

POPULASI DAN SAMPEL PENELITIAN

Populasi penelitian adalah data rute perjalanan wisata di Kalimantan Timur. Sampel yang digunakan data rute perjalanan wisata di Kalimantan Timur Tahun 2024.

VARIABEL PENELITIAN

Penelitian ini melakukan pengambilan data sekunder yang diperoleh dari *Google Maps* dengan memperhatikan rute dan jarak tempuhnya. Variabel yang digunakan dapat dilihat pada Tabel 1.

Tabel 1. Variabel Penelitian

Variabel	Keterangan	Satuan
v_i	Titik/tujuan ke- i	-
$v_i v_j$	Jarak antara titik i dan titik j	Kilometer

HASIL DAN PEMBAHASAN

DESKRIPSI DATA

Terdapat tujuh titik yang harus dikunjungi yang terdiri dari satu titik bandara yang ditetapkan sebagai titik awal dan enam titik destinasi wisata yang ada di Kalimantan Timur Data ini diperoleh melalui *Google Maps*. Berikut adalah daftar tujuh lokasi tersebut yang digunakan sebagai lokasi kunjungan wisatawan yang ditampilkan pada Tabel.2.

Tabel 2. Data lokasi bandara dan wisata di Kalimantan Timur

Lokasi	Titik
Bandara Sepinggan Balikpapan	v_1
Hutan Mangrove Margomulyo	v_2
Pantai Melawai	v_3
Samboja Lodge	v_4
Batu Dinding Long Melaham	v_5
Bukit Bingkirai	v_6
Taman Ekologis Anang Hasyim	v_7

Dari hasil *Google Maps* diperoleh tujuh titik lokasi yaitu bandara Sepingan Balikpapan sebagai titik awal

dan wisata Hutan Mangrove Margomulyo sebagai titik kedua, selanjutnya Pantai Melawai sebagai titik ketiga, Samboja Lodge sebagai titik keempat, Batu Dinding Long Melaham sebagai titik kelima, Bukit Bingkirai sebagai titik keenam dan Taman Ekologis Anang Hasyim sebagai titik ketujuh. Rute lokasi geografis bandara dan beberapa destinasi wisata di Kalimantan Timur yang ditampilkan pada Gambar 1.



Gambar 1. Peta Bandara dan Destinasi Wisata di Kalimantan Timur

Dari Gambar 1, didapat jarak antar lokasi (titik). Jarak antar lokasi (titik) dapat dilihat pada Tabel 3. Tabel 3. Matriks Ketetanggan Jarak Antar Destinasi Wisata

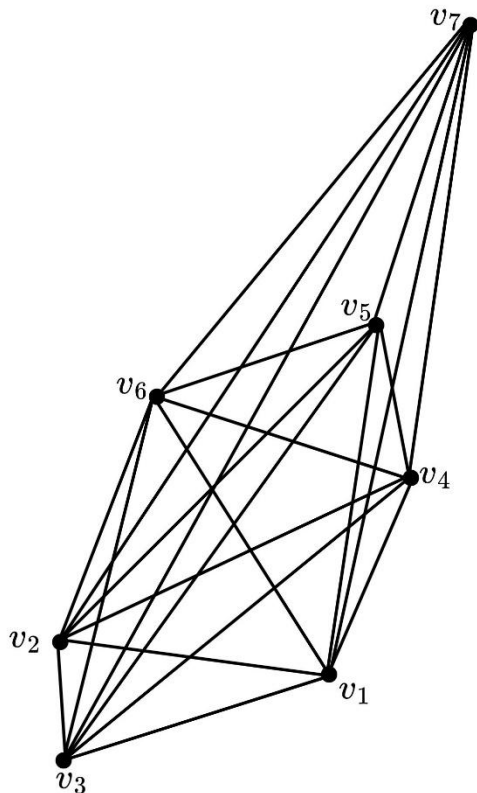
Lokasi	v_1	v_2	v_3	v_4	v_5	v_6	v_7
v_1	∞	14,2	12,2	36,9	549	46,4	118
v_2	14,2	∞	10	37,8	444	44,5	116
v_3	12,2	10	∞	44,5	451	65	122
v_4	36,9	37,8	44,5	∞	515	28,2	91,9
v_5	549	444	451	515	∞	480	455
v_6	46,4	44,5	65	28,2	480	∞	101
v_7	118	116	122	91,9	455	101	∞

Dari Tabel 3, dapat dilihat bahwa jarak antar lokasi (titik) terdekat adalah 10 km yang menghubungkan Pantai Melawai dan Hutan Mangrove Margomulyo. Jarak antar lokasi terjauh adalah 549 km yang menghubungkan bandara Sepinggan Balikpapan dan Batu Dinding Long Melaham.

MODEL GRAF RUTE WISATA DI KALIMANTAN TIMUR

Model graf rute wisata di Kalimantan Timur sebagai permasalahan TSP yang dibuat berdasarkan Gambar 1 dan Tabel 3. Model graf rute wisata di

Kalimantan Timur sebagai permasalahan TSP dapat dilihat pada Gambar 2.



Gambar 2. Graf Lengkap 7 titik lokasi wisata

PENYELESAIAN TSP DENGAN ALGORITMA BRANCH AND BOUND

Penyelesaian rute wisata di Kalimantan Timur dengan algoritma *Branch and Bound* dilakukan sebagai berikut:

Langkah 1: Inisialisasi awal

- Diambil matriks jarak rute wisata pada Tabel 2
- Cari nilai minimum tiap baris pada matriks dan kurangkan tiap elemen matriks dengan nilai minimum baris tersebut.

Tabel 4. Nilai Minimum Baris Matriks

Lokasi	v_1	v_2	v_3	v_4	v_5	v_6	v_7	Min Baris
v_1	∞	14.2	12.2	36.9	549	46.4	118	12.2
v_2	14.2	∞	10	37.8	444	44.5	116	10
v_3	12.2	10	∞	44.5	451	65	122	10
v_4	36.9	37.8	44.5	∞	515	28.2	91.9	28.2
v_5	549	444	451	515	∞	480	455	444

v_6	46.4	44.5	65	28.2	480	∞	101	28.2
v_7	118	116	122	91.9	455	101	∞	91.9

- mencari nilai minimum dari setiap kolom pada matriks hasil reduksi tersebut, kemudian mengurangkan setiap elemen dalam kolom tersebut dengan nilai minimum kolom yang bersangkutan

Tabel 5. Nilai Minimum Kolom Matriks

Lokasi	v_1	v_2	v_3	v_4	v_5	v_6	v_7
v_1	∞	2	0	24.7	536.8	34.2	105.8
v_2	4.2	∞	0	27.8	434	34.5	106
v_3	2.2	0	∞	34.5	441	55	112
v_4	8.7	9.6	16.3	∞	486.8	0	63.7
v_5	105	0	7	71	∞	36	11
v_6	18.2	16.3	36.8	0	451.8	∞	72.8
v_7	26.1	24.1	30.1	0	363.1	9.1	∞
Min Kolom	2.2	0	0	0	363.1	0	11

- Diperoleh matriks jarak antar destinasi wisata yang telah direduksi, di mana setiap baris dan kolom memiliki nilai minimum sebesar 0. Selanjutnya, jumlahkan seluruh nilai reduksi dari baris dan kolom untuk memperoleh estimasi nilai awal.

Tabel 6. Reduksi Kolom

Lokasi	v_1	v_2	v_3	v_4	v_5	v_6	v_7	Min Baris
v_1	∞	2	0	24.7	173.7	34.2	94.8	0
v_2	2	∞	0	27.8	70.9	34.5	95	0
v_3	0	0	∞	34.5	77.9	55	101	0
v_4	6.5	9.6	16.3	∞	123.7	0	52.7	0
v_5	102.8	0	7	71	∞	36	0	0
v_6	16	16.3	36.8	0	88.7	∞	61.8	0
v_7	23.9	24.1	30.1	0	0	9.1	∞	0
Min Kolom	0	0	0	0	0	0	0	

Nilai estimasi titik awal $c(b)$ = Total pereduksi baris dan kolom

$$\begin{aligned}
 &= 12,2 + 10 + 10 + 28,2 + 444 + 28,2 + 91,9 \\
 &\quad + 2,2 + 363,1 + 11 \\
 &= 100,8 \text{ km}
 \end{aligned}$$

Langkah 2: Menentukan titik awal dan mencari titik tujuan

- Tentukan titik awal untuk memulai perjalanan wisata
- Tentukan destinasi berikutnya dengan memilih jarak terpendek, lalu modifikasi matriks sesuai dengan tahapan yang telah ditentukan.
- Hitung kembali nilai minimum dari setiap baris dan kolom pada matriks, lalu jumlahkan semua

nilai minimum tersebut untuk memperoleh estimasi awal total jarak tempuh.

- d. Setelah itu, tentukan jarak perjalanan dari titik awal menuju masing-masing destinasi yang memungkinkan $c(d)$.
- e. Dari semua kemungkinan destinasi tersebut, pilih rute dengan jarak tempuh paling pendek sebagai jalur perjalanan selanjutnya, dan jadikan titik tersebut sebagai titik awal baru untuk proses berikutnya.
- f. Ulangi langkah-langkah yang sama hingga semua destinasi wisata telah dikunjungi.

Langkah 3:

Iterasi 1 (Rute v_1 -)

- a. Rute $v_1 - v_2$

Tabel 7. Matriks Jarak Dari v_1 ke v_2

Lokasi	v_1	v_2	v_3	v_4	v_5	v_6	v_7	Min Baris
v_1	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	0
v_2	∞	∞	0	27.8	70.9	34.5	95	0
v_3	0	∞	∞	34.5	77.9	55	101	0
v_4	6.5	∞	16.3	∞	123.7	0	52.7	0
v_5	102.8	∞	7	71	∞	36	0	0
v_6	16	∞	36.8	0	88.7	∞	61.8	0
v_7	23.9	∞	30.1	0	0	9.1	∞	0
Min Kolom	0	0	0	0	0	0	0	

$$\begin{aligned}\text{Nilai estimasi titik tujuan } (c(d)) &= c(b) + a_{v_1 v_2} + r \\ &= 100,8 + 2 + 0 \\ &= 102,8 \text{ km}\end{aligned}$$

- b. Rute $v_1 - v_3$

Tabel 8. Matriks Jarak Dari v_1 ke v_3

Lokasi	v_1	v_2	v_3	v_4	v_5	v_6	v_7	Min Baris
v_1	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	0
v_2	2	∞	∞	27.8	70.9	34.5	95	2
v_3	0	0	∞	34.5	77.9	55	101	0
v_4	6.5	9.6	∞	∞	123.7	0	52.7	0
v_5	102.8	0	∞	71	∞	36	0	0
v_6	16	16.3	∞	0	88.7	∞	61.8	0
v_7	23.9	24.1	∞	0	0	9.1	∞	0

Min Kolom	0	0	0	0	0	0	0	
-----------	---	---	---	---	---	---	---	--

$$\begin{aligned}\text{Nilai estimasi titik tujuan } (c(d)) &= c(b) + a_{v_1 v_3} + r \\ &= 100,8 + 0 + 2 \\ &= 102,8 \text{ km}\end{aligned}$$

- c. Rute $v_1 - v_4$

Tabel 9. Matriks Jarak Dari v_1 ke v_4

Lokasi	v_1	v_2	v_3	v_4	v_5	v_6	v_7	Min Baris
v_1	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	0
v_2	2	∞	0	∞	70.9	34.5	95	0
v_3	0	0	∞	∞	77.9	55	101	0
v_4	6.5	9.6	16.3	∞	123.7	0	52.7	0
v_5	102.8	0	7	∞	∞	36	0	0
v_6	16	16.3	36.8	∞	88.7	∞	61.8	16
v_7	23.9	24.1	30.1	∞	0	9.1	∞	0
Min Kolom	0	0	0	0	0	0	0	

$$\begin{aligned}\text{Nilai estimasi titik tujuan } (c(d)) &= c(b) + a_{v_1 v_4} + r \\ &= 100,8 + 24,7 + 16 \\ &= 141,5 \text{ km}\end{aligned}$$

- d. Rute $v_1 - v_5$

Tabel 10. Matriks Jarak Dari v_1 ke v_5

Lokasi	v_1	v_2	v_3	v_4	v_5	v_6	v_7	Min Baris
v_1	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	0
v_2	2	∞	0	27.8	∞	34.5	95	0
v_3	0	0	∞	34.5	∞	55	101	0
v_4	6.5	9.6	16.3	∞	∞	0	52.7	0
v_5	102.8	0	7	71	∞	36	0	0
v_6	16	16.3	36.8	0	∞	∞	61.8	0
v_7	23.9	24.1	30.1	0	∞	9.1	∞	0
Min Kolom	0	0	0	0	0	0	0	

$$\text{Nilai estimasi titik tujuan } (c(d)) = c(b) + a_{v_1 v_5} + r$$

$$= 100,8 + 173,7 + 0$$

$$= 274,5 \text{ km}$$

e. Rute $v_1 - v_6$

Tabel 11. Matriks Jarak Dari v_1 ke v_6

Lokasi	v_1	v_2	v_3	v_4	v_5	v_6	v_7	Min Baris
v_1	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	0
v_2	2	∞	0	27.8	70.9	∞	95	0
v_3	0	0	∞	34.5	77.9	∞	101	0
v_4	6.5	9.6	16.3	∞	123.7	∞	52.7	6.5
v_5	10 2.8	0	7	71	∞	∞	0	0
v_6	16	16. 3	36.8	0	88.7	∞	61.8	0
v_7	23. 9	24. 1	30. 1	0	0	∞	∞	0
Min Kolom	0	0	0	0	0	0	0	

Nilai estimasi titik tujuan $(c(d)) = c(b) + a_{v_1 v_6} + r$

$$= 100,8 + 34,2 + 6,5$$

$$= 141,5 \text{ km}$$

f. Rute $v_1 - v_7$

Tabel 12. Matriks Jarak Dari v_1 ke v_7

Lokasi	v_1	v_2	v_3	v_4	v_5	v_6	v_7	Min Baris
v_1	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	0
v_2	2	∞	0	27.8	70.9	34.5	∞	0
v_3	0	0	∞	34.5	77.9	55	∞	0
v_4	6.5	9.6	16.3	∞	123.7	0	∞	0
v_5	10 2.8	0	7	71	∞	36	∞	0
v_6	16	16. 3	36.8	0	88.7	∞	∞	0
v_7	23. 9	24. 1	30. 1	0	0	9.1	∞	0
Min Kolom	0	0	0	0	0	0	0	

Nilai estimasi titik tujuan $(c(d)) = c(b) + a_{v_1 v_7} + r$

$$= 100,8 + 94,8 + 0$$

$$= 195,6 \text{ km}$$

Setelah dilakukan penelusuran terhadap asumsi rute tujuan keseluruhan titik berdasarkan perhitungan yang ditampilkan pada Tabel 7 hingga Tabel 12, maka diperoleh hasil rute pada Tabel berikut:

Tabel 13. Perhitungan Rute Dari Titik v_1

No	Rute	$c(b)$	a_{ij}	r	$c(d)$
1	$v_1 - v_2$	100,8	2	0	102,8
2	$v_1 - v_3$	100,8	0	2	102,8
3	$v_1 - v_4$	100,8	24,7	16	141,5
4	$v_1 - v_5$	100,8	173,7	0	274,5
5	$v_1 - v_6$	100,8	34,2	6,5	141,5
6	$v_1 - v_7$	100,8	94,8	0	195,6

Berdasarkan Tabel 13 diperoleh bahwa nilai estimasi titik tujuan terkecil adalah rute $v_1 - v_2$ dengan nilai 102,8 . Perhitungan dilanjutkan hingga Iterasi ke 6. Adapun hasil akhir perhitungan dapat dilihat pada Tabel 14.

Tabel 14. Matriks Jarak Dari v_5 ke v_7

Lokasi	v_1	v_2	v_3	v_4	v_5	v_6	v_7	Min Baris
v_1	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	0
v_2	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	0
v_3	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	0
v_4	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	0
v_5	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	0
v_6	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	0
v_7	23.9	∞	∞	∞	∞	∞	∞	23.9
Min Kolom	23. 9	0	0	0	0	0	0	

Nilai estimasi titik tujuan $(c(d)) = c(b) + a_{v_5 v_7} + r$

$$= 100,8 + 0 + 23,9 + 23,9$$

$$= 148,6 \text{ km}$$

Setelah proses pencarian jalur optimal dilakukan hingga iterasi ke-6, dan seluruh titik telah masuk ke dalam rute perjalanan, maka diperoleh total jarak

tempuh sepanjang 148,6 km. Rute dengan bobot minimum tersebut adalah:

$$v_1 - v_2 - v_3 - v_4 - v_6 - v_5 - v_7 - v_1$$

PENUTUP

SIMPULAN

Kesimpulan yang dapat diambil dari penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Berdasarkan hasil penelitian diperoleh model graf rute wisata Kalimantan Timur dapat digambarkan sesuai Gambar 2.
2. Penyelesaian optimasi rute wisata dengan algoritma *Branch and Bound* didapatkan rute terbaiknya yaitu: Bandara Sepinggan Balikpapan→Hutan Mangrove Margomulyo→Pantai Melaw→Samboja Lodge→Bukit Bingkirai→Batu Dinding Long Melaha→Taman Ekologis Anang Hasyim→Bandara Sepinggan Balikpapan.
3. Jarak tempuh optimal yang diperoleh dari hasil penerapan algoritma *Branch and Bound* adalah 148,6 km.

SARAN

Saran yang dapat diberikan untuk penelitian selanjutnya adalah sebagai berikut: Menggunakan dua algoritma atau metode dalam mengaplikasikan permasalahan *Traveling Salesman Problem* (TSP) untuk membandingkan hasil akhir yang lebih optimal dengan algoritma atau metode lain, seperti Heuristik *Insertion*, *Bee Colony*, *Ant Colony*, dan lain sebagainya.

DAFTAR PUSTAKA

- Angeline, Iryanto, tarigam, G. (2014). Penerapan Metode Branch and Bound Dalam Menentukan Jumlah Produksi Optimum Pada CV. XYZ. *Saintia Matematika*, 2(2),137-145.
- Azzahrha, F. K., Sari, R. P., Fauzan, M. D. R. 2021. Optimalisasi Produksi Tahu menggunakan Metode Branch and Bound dan Cutting Plane. *Jurnal STRING*, 6(2), 175-184.
- Chandra, N. (2015). Penerapan Metode Branch and Bound Pada Penyelesaian Masalah Traveling Salesman Problem (Tsp). <http://repository.unj.ac.id/id/eprint/29411%0Ahttp://repository.unj.ac.id/29411/1/skripsi.pdf>
- Chau, M., & Reith, R. (2020). IDC - Smartphone Market Share - Vendor. Smartphone Market Share.
- Fauzi, M., Anwar, A. 2019. Solving the Travelling Salesman Problem (TSP) Using Branch and Bound Method (Case Study at Company of XYZ). *International Journal of Innovation, Creativity and Change*, 6(6).
- Gurnitowati, F. M., Rochmad, & Supriyono. (2014). Penerapan Algoritma Branch and Bound Untuk Menentukan Rute Objek Wisata Di Semarang. *Unnes Journal of Mathematics*, 3(1).
- Herdhiansyah, D., Yunissa, A., & Gusmiarty, Weka, A. (2023). Optimasi penentuan rute distribusi beras komersial Bulog menggunakan metode branch and bound dengan bantuan software lingo. *Jurnal Teknologi Industri Pertanian*, 17(2), 353-364. <https://doi.org/10.21107/agrointek.v17i2.14514>
- Masitoh, S. (2018). Blended Learning Berwawasan Literasi Digital Suatu Upaya Meningkatkan Kualitas Pembelajaran dan Membangun Generasi Emas 2045. *Proceedings of the ICECRS*, 1(3), 13-34. <https://doi.org/10.21070/picecrs.v1i3.1377>
- Maswarni, Hermawan, H., dan Kartono. 2019. *Riset Operasi*. Tangerang Selatan: UNPAM PRESS.
- Oeitama, W. Y., Sitandi, F. F., Mas'ud, S. (2024). Optimasi Rute Pendistribusian Barang Menggunakan Kombinasi Algoritma Branch and Bound dan Cheapest Insertion Heuristic. *Journal of Mathematics and Mathematics Education*, 6(2), 89-104.
- Purba, S. D., Ahyaningsih, F. 2020. Integer Programming Dengan Metode Branch and Bound Dalam Optimasi Jumlah Produksi Setiap Jenis Roti Pada PT. Arma Anugerah Abadi. *Jurnal Karismatika*, 6(3), 20-29.
- Riyanti, E. (2004). Penerapan Algoritma Branch and Bound Untuk Penentuan Rute Objek Wisata. Universitas Komputer Indonesia.
- Safitri, E., Basriati, S., Widiarti, W., Sukmawati, S. 2024. Kombinasi Algoritma Branch and Bound dan Cheapest Insertion Heuristic dalam Mengoptimalkan Rute Distribusi Kurir Paket JNT di Kecamatan Batang Cenaku. *Jurnal Lebesgue: Jurnal Ilmiah Pendidikan Matematika, Matematika dan Statistika*, 5(1), 561-572.
- Siang, J, J. 2014. *Riset Operasi dalam Pendekatan*. Yogyakarta: ANDI.
- Simarmata, J. E. (2020). Penerapan Algoritma Branch and Bound Pada Persoalan Pedagang Keliling (Travelling Salesman Problem). *RANGE: Jurnal Pendidikan Matematika*, 1(2), 111-121. <https://doi.org/10.32938/jpm.v1i2.366>
- Syaifuddin, D.T. 2011. *Riset Operasi*. Malang: CV Citra Malang.
- Wibisono, S. (2008). *Matematika Diskrit*. Jakarta: Graha Ilmu.