

Penerapan Metode Branch and Bound untuk Optimalisasi Rute Wisata Terdekat di Kota Palembang

Jaysen Stephanus^{1,*}, Felix Gunawan² and Yohannes³

^{1,2,3}Program Studi Informatika, Fakultas Ilmu Komputer dan Rekayasa, Universitas Multi Data Palembang;
jaysenstephanus_2327250042@mhs.mdp.ac.id; felixgunawan_2327250047@mhs.mdp.ac.id;
yohannesmasterous@mdp.ac.id

* Korespondensi: jaysenstephanus_2327250042@mhs.mdp.ac.id

Info Artikel:

Dikirim: 26 April 2026

Direvisi: 26 Mei 2026

Diterima: 06 Juni 2026

Abstract: This study discusses the application of the Branch and Bound method for optimizing the nearest tourism route in Palembang City using the Travelling Salesman Problem (TSP) approach. The problem addressed is how to determine the most efficient travel route among multiple tourist destinations while minimizing the total travel distance. The study utilizes geographical coordinate data of tourist attractions obtained from OpenStreetMap, and the distances between locations are calculated using the Haversine Formula to provide accurate distance estimations based on latitude and longitude coordinates. Subsequently, the Branch and Bound algorithm is employed to identify the optimal route through branching, bounding, and pruning processes, making the search for solutions more efficient than brute-force methods. The results demonstrate that the proposed system successfully generates an optimal circular tourism route with a minimum total distance of 40.47 km and an execution time of 12.84 seconds. The integration of the Haversine Formula and Branch and Bound algorithm proved effective in providing efficient, accurate, and adaptive tourism route recommendations, helping travelers reduce travel time and transportation costs in Palembang City.

Keywords: Branch and Bound; Haversine; Travelling Salesman Problem; Palembang; OpenStreetMap.

Intisari: Penelitian ini membahas penerapan metode *Branch and Bound* untuk optimalisasi rute wisata terdekat di Kota Palembang dengan pendekatan *Travelling Salesman Problem* (TSP). Permasalahan yang diangkat adalah bagaimana menentukan jalur perjalanan wisata yang paling efisien dari beberapa destinasi wisata dengan jarak tempuh minimum. Penelitian memanfaatkan data koordinat geografis destinasi wisata yang diperoleh melalui *OpenStreetMap*, kemudian jarak antar lokasi dihitung menggunakan *Haversine Formula* agar memperoleh estimasi jarak yang akurat berdasarkan *latitude* dan *longitude*. Selanjutnya, Algoritma *Branch and Bound* digunakan untuk mencari solusi rute optimal melalui proses *branching*, *bounding*, dan *pruning* sehingga pencarian solusi menjadi lebih efisien dibandingkan metode *brute force*. Hasil penelitian menunjukkan bahwa sistem berhasil menghasilkan rute wisata sirkular optimal dengan total jarak minimum sebesar 40,47 km dan waktu eksekusi 12,84 detik. Integrasi *Haversine Formula* dan *Branch and Bound* terbukti mampu memberikan rekomendasi rute wisata yang efisien, akurat, dan adaptif untuk membantu wisatawan menghemat waktu perjalanan dan biaya transportasi di Kota Palembang.

Kata Kunci: *Branch and Bound; Haversine; Travelling Salesman Problem; Palembang; OpenStreetMap.*

1. Pendahuluan

Palembang merupakan salah satu kota di Indonesia yang memiliki potensi wisata budaya, sejarah, dan kuliner yang sangat beragam. Kota ini memiliki berbagai destinasi wisata yang menjadi daya tarik bagi wisatawan lokal maupun mancanegara, seperti Jembatan Ampera, Benteng Kuto Besak, Pulau Kemaro, Museum Sriwijaya, dan Masjid Agung. Selain memiliki nilai sejarah dan budaya yang tinggi, destinasi wisata di Kota Palembang juga didukung oleh kuliner khas daerah serta perkembangan fasilitas wisata yang terus meningkat sehingga mampu menarik minat pengunjung untuk datang dan mengenal lebih jauh budaya Kota Palembang [1]. Bagi wisatawan, menentukan urutan kunjungan yang efisien dari titik awal seperti Bandara Sultan Mahmud Badaruddin II merupakan tantangan tersendiri yang dikenal sebagai *Travelling Salesman Problem*. *Travelling Salesman Problem* merupakan suatu permasalahan optimasi dalam bidang transportasi dan pencarian rute, yaitu menentukan jalur dengan biaya atau jarak paling minimum yang harus dilalui untuk mengunjungi sejumlah lokasi tepat satu kali dan kembali lagi ke titik awal perjalanan. Permasalahan ini sering digunakan dalam berbagai kasus seperti distribusi barang, transportasi, dan perencanaan rute wisata karena mampu membantu menemukan jalur perjalanan yang paling efisien [2].

Pada penelitian ini, metode *Branch and Bound* dipilih untuk menyelesaikan permasalahan *Travelling Salesman Problem* dalam pencarian rute wisata di Kota Palembang. *Branch and Bound* merupakan metode algoritma yang umum digunakan untuk menentukan solusi optimal pada permasalahan optimasi, khususnya optimasi diskrit dan kombinatorial. Algoritma ini bekerja menggunakan pendekatan enumerasi dengan melakukan pembatasan atau pemangkasan (*bounding*) terhadap jalur pencarian yang tidak mengarah pada solusi optimal sehingga proses pencarian menjadi lebih efisien. Dengan metode ini, sistem dapat menentukan rute perjalanan wisata dengan total jarak yang lebih minimum dibandingkan pencarian secara manual [3]. Selain itu, penelitian ini memanfaatkan *OpenStreetMap* sebagai sumber data geografis untuk memperoleh informasi lokasi dan jarak antar destinasi wisata secara akurat. *OpenStreetMap* merupakan platform pemetaan berbasis internet yang menyediakan data spasial seperti koordinat lokasi, jaringan jalan, dan informasi geografis lainnya secara terbuka dan mudah diakses. Dengan integrasi metode *Branch and Bound* dan data geografis dari *OpenStreetMap*, sistem diharapkan mampu menghasilkan rekomendasi rute wisata yang optimal, efisien, serta membantu wisatawan menghemat waktu dan jarak perjalanan saat mengunjungi berbagai destinasi wisata di Kota Palembang [4].

Optimasi rute perjalanan menggunakan algoritma *Branch and Bound* terus dikembangkan dalam penelitian terbaru, seperti yang diterapkan pada studi kasus destinasi wisata di Kalimantan Timur untuk mendukung efisiensi perjalanan di kawasan Ibu Kota Nusantara (IKN) [5]. Meskipun penelitian tersebut berhasil memodelkan rute optimal menggunakan pendekatan matematika yang kuat, proses penentuan jarak antar lokasi masih mengandalkan dataset jarak yang bersifat statis. Hal ini menjadi celah yang diselesaikan dalam penelitian ini melalui integrasi sistem secara otomatis dan dinamis dengan API *OpenStreetMap* (*Nominatim* dan *Overpass*). Berbeda dengan pendekatan pada [5], sistem dalam penelitian ini menawarkan kebaruan berupa akuisisi koordinat lokasi secara *real-time* dan penerapan *Haversine Formula* untuk menghitung jarak *great-circle* secara presisi tanpa bergantung pada dataset eksternal yang statis. Dengan demikian, penelitian ini tidak hanya menghasilkan rute optimal di Kota Palembang, tetapi juga menyediakan model implementasi yang lebih skalabel, efisien secara biaya (*cost-free*), dan adaptif terhadap perubahan data lokasi wisata tanpa memerlukan input data jarak secara manual.

2. Tinjauan Pustaka

Tinjauan pustaka berisi teori-teori yang mendukung penelitian mengenai optimalisasi rute wisata di Kota Palembang. Adapun teori yang digunakan meliputi *Travelling Salesman Problem*, metode *Branch and Bound*, dan *Formula Haversine*.

2.1. *Travelling Salesman Problem* (TSP)

Travelling Salesman Problem (TSP) merupakan permasalahan optimasi yang bertujuan mencari rute terpendek bagi seorang salesman untuk mengunjungi sejumlah kota tertentu tepat satu kali dan kembali lagi ke kota awal. TSP menjadi salah satu permasalahan algoritma yang paling dikenal dalam bidang ilmu komputer dan operations research karena berfokus pada penentuan jalur atau routing yang optimal. Dalam TSP, seorang salesman harus mengunjungi seluruh kota yang tersedia tanpa ada kota yang dikunjungi lebih dari satu kali, kemudian kembali ke titik keberangkatan semula [6].

TSP termasuk ke dalam masalah *combinatorial optimization* dan dikategorikan sebagai *NP-complete* atau *NP-hard* karena tingkat kompleksitasnya yang tinggi. Meskipun memiliki model matematis yang sederhana dan mudah dipahami, penyelesaian TSP membutuhkan waktu komputasi serta sumber daya yang besar, terutama ketika jumlah kota semakin banyak [7]. Dengan demikian, TSP dapat diartikan sebagai permasalahan pencarian rute paling optimal untuk mengunjungi seluruh titik tujuan dengan jarak atau biaya minimum dalam satu perjalanan.

2.2. Branch and Bound

Branch and Bound merupakan metode algoritma yang digunakan untuk menentukan solusi optimal pada permasalahan optimisasi, khususnya optimisasi diskrit dan optimisasi kombinatorial. Metode ini bekerja dengan membangun serta mengevaluasi cabang-cabang solusi yang mungkin untuk memperoleh hasil paling optimal. Sesuai dengan namanya, *Branch and Bound* terdiri dari dua tahapan utama, yaitu *branch* dan *bound*. Tahap *branch* merupakan proses membangun seluruh kemungkinan cabang (*tree*) yang dapat menuju solusi, sedangkan tahap *bound* merupakan proses menentukan *node* yang masih aktif (*active node* atau *E-node*) dan *node* yang tidak digunakan lagi (*dead node* atau *D-node*) berdasarkan batasan atau *constraint* tertentu [8].

Metode *Branch and Bound* juga dikenal sebagai pendekatan yang efektif dalam menyelesaikan masalah kombinasi dengan strategi pengurangan jumlah perhitungan. Pada proses *branching*, permasalahan yang kompleks dibagi menjadi submasalah yang lebih kecil dan lebih sederhana agar lebih mudah diselesaikan. Selanjutnya, proses *bounding* dilakukan dengan menetapkan batas bawah pada setiap submasalah untuk mempersempit ruang pencarian solusi sehingga solusi yang tidak relevan dapat dieliminasi. Dengan kombinasi kedua proses tersebut, metode *Branch and Bound* mampu memberikan pendekatan yang sistematis dan efisien dalam menemukan solusi yang berpotensi optimal [9].

Sehingga metode *Branch and Bound* dapat diartikan sebagai metode optimisasi yang digunakan untuk memperoleh solusi optimal dengan membagi permasalahan menjadi beberapa submasalah melalui proses *branching* serta membatasi ruang pencarian solusi menggunakan proses *bounding* agar proses perhitungan menjadi lebih efisien dan terarah.

2.3. Haversine Formula

Haversine Formula merupakan metode yang digunakan untuk menentukan jarak terpendek antara dua titik berdasarkan koordinat *latitude* dan *longitude*. Metode ini bekerja menggunakan konsep trigonometri pada permukaan bola untuk menghitung jarak antar lokasi di permukaan bumi. *Haversine Formula* sering diterapkan pada sistem berbasis lokasi atau *Location Based Service* (LBS) untuk membantu pengguna menemukan lokasi terdekat secara lebih akurat dan efisien [10].

Haversine Formula juga dikenal sebagai persamaan navigasi yang digunakan untuk menghitung jarak lingkaran besar (*great-circle distance*) antara dua titik pada permukaan bumi berdasarkan nilai bujur dan lintang. Metode ini memperhitungkan bahwa bumi bukan merupakan bidang datar, melainkan memiliki bentuk menyerupai bola dengan tingkat kelengkungan tertentu. Dalam penggunaannya, *Haversine Formula* mengabaikan efek ellipsoidal bumi, namun tetap dianggap cukup akurat untuk sebagian besar proses perhitungan jarak antar lokasi [11]. Oleh karena itu, *Haversine Formula* banyak digunakan dalam sistem navigasi, pemetaan digital, dan pencarian rute karena mampu memberikan perhitungan jarak yang efisien dan mendekati kondisi sebenarnya di permukaan bumi.

2.4. Penelitian Terdahulu

Penelitian terdahulu digunakan sebagai referensi dan bahan perbandingan dalam penelitian yang dilakukan. Beberapa penelitian yang berkaitan dengan TSP, metode *Branch and Bound*, serta *Haversine Formula* telah dilakukan sebelumnya dengan tujuan menyelesaikan permasalahan optimasi rute dan perhitungan jarak antar lokasi. Ringkasan penelitian terdahulu yang relevan dengan penelitian ini ditunjukkan pada Tabel 1.

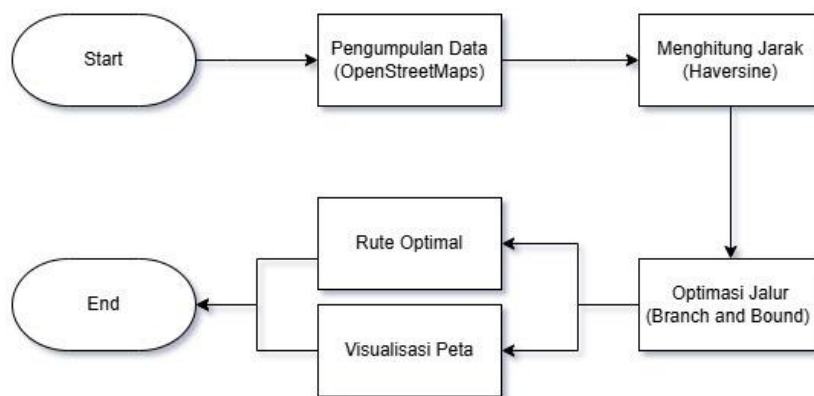
Tabel 1. Ringkasan Penelitian Terdahulu Relevan

No	Judul	Tahun	Metode	Ulasan Singkat	Hasil
1	Penerapan Algoritma Branch and Bound untuk Menentukan Rute Objek Wisata di Kota Semarang [12]	2014	Algoritma <i>Branch and Bound</i> , <i>Travelling Salesman Problem</i> (TSP), software WinQSB	Meneliti pencarian solusi rute terpendek objek wisata di Kota Semarang secara manual dan komputasi menggunakan WinQSB.	Pembuktian matematis menunjukkan algoritma <i>Branch and Bound</i> sukses menyelesaikan TSP rute wisata Semarang dengan total jarak minimum sebesar 53,2 km.
2	Rekomendasi Objek Wisata Provinsi Jawa Barat Dengan Algoritma Branch and Bound [13]	2018	Algoritma <i>Branch and Bound</i> , Teori Graf	Memodelkan simpul rute perjalanan wisata unggulan di Jawa Barat guna mengevaluasi berbagai kombinasi jalur perjalanan bagi wisatawan.	Algoritma berhasil memberikan rekomendasi jalur wisata dengan bobot atau jarak terkecil, sehingga perjalanan menjadi lebih efektif.

3	Sistem Penerapan Metode Haversine pada Aplikasi Pencarian Toko Vape Terdekat di Kecamatan Lowokwaru Berbasis Mobile Android [10]	2024	<i>Haversine Formula, Location Based Service (LBS)</i>	Mengembangkan aplikasi berbasis <i>Android</i> untuk mencari lokasi toko vape terdekat di Kecamatan Lowokwaru berdasarkan koordinat pengguna.	Sistem fungsional 100% pada pengujian <i>Black Box</i> , serta perhitungan jarak metode <i>Haversine</i> memiliki tingkat akurasi tinggi dengan selisih rata-rata hanya 0,40% dari <i>Google Maps</i> .
4	Penerapan Metode Haversine Dalam Pencarian Lokasi Penjualan Alkes di Kota Medan Berbasis Android [11]	2024	<i>Haversine Formula, Sistem Informasi Geografis (SIG)</i>	Merancang aplikasi pencarian lokasi toko alat kesehatan di Kota Medan untuk mempermudah masyarakat mengetahui titik koordinat toko terdekat.	Menghasilkan aplikasi berbasis <i>Android</i> yang efektif membantu pengguna mendapatkan informasi lengkap dan menghitung jarak koordinat secara presisi.
5	Penerapan Algoritma Branch and Bound untuk Optimasi Rute Wisata di Kalimantan Timur Berdasarkan Traveling Salesman Problem [5]	2025	<i>Algoritma Branch and Bound, Graf Berbobot Tak Berarah</i>	Menganalisis optimasi rute sirkular objek wisata di Kalimantan Timur menggunakan pendekatan TSP pasca pembangunan IKN.	Berhasil menemukan rute terpendek sirkular dari Bandara Sepinggan melewati berbagai objek wisata dengan total jarak optimal sejauh 148,6 km.

3. Metode dan Pembahasan

Metode penelitian ini dirancang secara sistematis untuk menyelesaikan permasalahan optimasi rute objek wisata di Kota Palembang menggunakan integrasi *Haversine Formula* dan Algoritma *Branch and Bound*. Secara garis besar, tahapan pelaksanaan penelitian ini disajikan dalam bentuk alur kerja (*flowchart*) yang dapat dilihat pada Gambar 1.



Gambar 1. Flowchart Prosedur Penelitian Optimasi Rute

Berdasarkan alur penelitian pada Gambar 1, penjelasan mekanis dari setiap tahapan penelitian dijabarkan secara rinci ke dalam sub-bab berikut:

3.1. Pengumpulan Data Objek Wisata dan Titik Koordinat

Tahap awal dalam penelitian ini difokuskan pada penentuan objek serta lokasi geografis yang menjadi target optimasi rute perjalanan. Objek yang dipilih merupakan destinasi wisata unggulan yang berada di wilayah administrasi Kota Palembang, seperti Jembatan Ampera, Benteng Kuto Besak, Pulau Kemaro, Masjid Agung, dan beberapa situs budaya lainnya. Dalam pemodelan ini, Bandara Sultan Mahmud Badaruddin II ditetapkan secara khusus sebagai titik awal (*depot*) keberangkatan sekaligus menjadi titik akhir kepulangan bagi wisatawan. Setelah daftar lokasi wisata ditentukan, proses dilanjutkan dengan melakukan ekstraksi data spasial guna mendapatkan nilai koordinat geografis berupa Garis Lintang (*Latitude*) dan Garis Bujur (*Longitude*) dari masing-masing titik destinasi. Proses akuisisi data koordinat dilakukan secara presisi dengan memanfaatkan fitur *Geocoding* berbasis

data spasial dari *OpenStreetMap* (OSM) atau *Google Maps* untuk menjamin akurasi posisi absolut pada pemetaan digital.

3.2. Perhitungan Jarak Geografis Menggunakan Haversine Formula

Setelah seluruh data koordinat *latitude* dan *longitude* dari objek wisata terkumpul, langkah krusial berikutnya adalah melakukan kalkulasi spasial untuk mengukur jarak antara satu objek wisata dengan objek wisata lainnya secara menyeluruh. Mengingat permukaan bumi memiliki karakteristik melengkung (berbentuk bola/sferis), maka pengukuran jarak antar titik koordinat tidak dapat diselesaikan menggunakan rumus *Euclidean linear* biasa karena akan menghasilkan deviasi yang besar. Oleh karena itu, penelitian ini menerapkan metode Haversine Formula yang memiliki kemampuan untuk menghitung jarak lingkaran besar (*great-circle distance*) yaitu jarak terpendek antara dua titik di permukaan bola berdasarkan nilai kelengkungan bumi dengan persamaan matematis sebagai berikut:

$$d = 2R \cdot \arcsin \left(\sqrt{\sin^2 \left(\frac{\Delta\phi}{2} \right) + \cos(\phi_1) \cdot \cos(\phi_2) \cdot \sin^2 \left(\frac{\Delta\lambda}{2} \right)} \right)$$

Pada persamaan di atas, variabel d merepresentasikan hasil estimasi jarak antar lokasi wisata, sedangkan R merupakan konstanta jari-jari bumi rata-rata yang bernilai 6.371 kilometer. Variabel ϕ_1 dan ϕ_2 melambangkan nilai koordinat *latitude* dari kedua titik yang diukur, sementara $\Delta\phi$ dan $\Delta\lambda$ masing-masing menunjukkan selisih nilai *latitude* dan *longitude* dalam satuan radian. Proses komputasi menggunakan rumus ini dilakukan secara berulang untuk menjembatani hubungan antar simpul lokasi, yang hasil akhirnya akan dikompilasi secara terstruktur ke dalam sebuah matriks jarak (*distance matrix*) berdimensi $n \times n$ sebagai basis data input bagi proses optimasi selanjutnya.

3.3. Optimasi Rute Terpendek dengan Algoritma Branch and Bound

Matriks jarak yang telah terbentuk melalui kalkulasi *Haversine Formula* kemudian ditransformasikan ke dalam model matematis TSP. Permasalahan TSP di dalam penelitian ini bertujuan untuk mencari satu rute perjalanan sirkular tunggal yang bersifat paling efisien, di mana wisatawan harus mengunjungi seluruh objek wisata di Kota Palembang tepat satu kali sebelum akhirnya kembali lagi ke Bandara Sultan Mahmud Badaruddin II. Untuk mendapatkan solusi yang benar-benar optimal dan menghindari bias dari sekadar pendekatan heuristik, penelitian ini menerapkan Algoritma *Branch and Bound* yang secara sistematis mengeksplorasi ruang solusi melalui serangkaian tahapan interaktif yang saling terintegrasi.

Proses komputasi di dalam algoritma ini diawali dengan tahapan percabangan atau *branching* yang berfungsi untuk memecah masalah utama menjadi beberapa sub-masalah yang lebih kecil secara hierarkis. Tahap *branching* ini direpresentasikan dengan membangun sebuah pohon keputusan (*search tree*), di mana setiap simpul anak yang terbentuk melambangkan urutan kombinasi alternatif kunjungan objek wisata berikutnya. Dari simpul akar yang mewakili Bandara Sultan Mahmud Badaruddin II, algoritma akan terus bercabang membentuk jalur-jalur baru yang merepresentasikan setiap kemungkinan rute perjalanan dinamis ke objek wisata tujuan di Kota Palembang.

Setelah sub-masalah terbentuk melalui percabangan, tahapan berikutnya adalah pembatasan atau *bounding* yang memegang peranan krusial dalam mengukur kelayakan jarak dari setiap simpul aktif. Tahap *bounding* dilakukan dengan cara menghitung nilai batas bawah (*lower bound*) dari total biaya atau jarak yang mungkin ditempuh melalui suatu percabangan tertentu. Nilai batas bawah ini diperoleh secara matematis melalui teknik reduksi baris dan kolom pada matriks jarak, sehingga sistem dapat memprediksi estimasi jarak minimum yang akan dicapai jika suatu jalur terus dieksplorasi tanpa harus menghitung seluruh kombinasi rute secara utuh.

Evaluasi terhadap nilai batas bawah tersebut kemudian mendasari tahapan terakhir di dalam algoritma ini, yaitu pemangkasan ruang solusi atau yang dikenal dengan istilah *pruning*. Tahap *pruning* bekerja secara dinamis untuk meningkatkan efisiensi waktu komputasi dengan cara menghentikan dan mengeliminasi cabang simpul aktif apabila nilai *lower bound* pada simpul tersebut terdeteksi sudah melebihi batas solusi terbaik sementara yang telah ditemukan sebelumnya (*upper bound*). Melalui mekanisme pemangkasan ini, cabang simpul yang dipastikan tidak akan menghasilkan rute yang lebih pendek akan langsung diabaikan, dan algoritma akan melakukan pencarian ulang (*backtracking*) untuk mengevaluasi simpul potensial lainnya hingga seluruh ruang solusi selesai dievaluasi secara konvergen. Urutan kombinasi lokasi dengan total kilometer terkecil yang lolos dari seluruh tahapan inilah yang dikunci sebagai solusi mutlak dan siap ditampilkan sebagai rekomendasi rute perjalanan wisata terbaik di Kota Palembang.

4. Hasil Penelitian

Pada bab ini dipaparkan mengenai hasil implementasi sistem serta analisis komputasi yang diperoleh dari integrasi metode *Haversine Formula* dan *Algoritma Branch and Bound* untuk optimasi rute wisata di Kota Palembang. Proses pengujian dilakukan dengan menggunakan titik keberangkatan awal (*depot*) dari Bandara Sultan Mahmud Badaruddin II, melewati sejumlah objek wisata target, dan kembali ke titik bandara semula untuk membentuk sebuah rute sirkular yang efisien.

4.1. Hasil Akuisisi Data Geografis Objek Wisata

Tahap pertama dalam penyusunan hasil penelitian ini adalah penyajian data koordinat dari seluruh destinasi wisata di Kota Palembang yang telah berhasil diekstraksi menggunakan basis data spasial *OpenStreetMap* (OSM). Data spasial yang diambil berupa nilai absolut dari Garis Lintang (*Latitude*) dan Garis Bujur (*Longitude*). Penentuan nilai koordinat secara presisi ini sangat krusial, karena deviasi sekecil apa pun pada data lintang dan bujur akan memengaruhi akurasi kalkulasi jarak sferis pada tahap selanjutnya. Data hasil pengumpulan titik koordinat lokasi wisata disajikan secara terstruktur pada Tabel 2.

Tabel 2. Titik Koordinat Geografis Destinasi Wisata Kota Palembang

Kode	Nama Objek Wisata	Latitude	Longitude
L1	Bandara Sultan Mahmud Badarudin II (Depot)	-2.898250	104.699769
L2	Museum Balaputra Dewa	-2.946936	104.732811
L3	Taman Kota Bukit Siguntang	-2.956639	104.730742
L4	Kambang Iwak	-2.976912	104.744787
L5	Palembang Indah Mall (PIM)	-2.984882	104.753744
L6	Martabak Har Palembang	-2.987441	104.756943
L7	Masjid Agung Palembang	-2.987796	104.758522
L8	Jembatan Ampera	-2.991984	104.763393
L9	Benteng Kuto Besak	-2.993764	104.756554
L10	Pempek Palembang	-2.990308	104.756857
L11	OPI Mall	-3.036073	104.791637
L12	Pulau Kemaro	-2.979722	104.790833

4.2. Hasil Pembentukan Matriks Jarak Berbasis *Haversine Formula*

Setelah seluruh data koordinat absolut pada Tabel 2 diperoleh, proses komputasi dilanjutkan dengan mengkalkulasi jarak antar simpul lokasi menggunakan *Haversine Formula*. Metode ini berhasil menghitung jarak terpendek berdasarkan kelengkungan permukaan bumi, sehingga menghasilkan representasi jarak geografis yang mendekati kondisi riil di lapangan jika dibandingkan dengan metode *Euclidean linear* konvensional. Hasil dari seluruh kombinasi perhitungan jarak antar objek wisata ini kemudian dikompilasi secara matematis untuk membentuk matriks jarak (*distance matrix*) berdimensi $n \times n$ dimana n adalah jumlah total lokasi wisata. Matriks jarak yang merepresentasikan bobot antar simpul wisata tersebut ditunjukkan pada Tabel 3.

Tabel 3. Matriks Jarak Antar-Destinas Wisata Berdasarkan *Haversine Formula* (km)

Asal\Tujuan	L1	L2	L3	L4	L5	L6	L7	L8	L9	L10	L11	L12
L1	0	6.54	7.35	10.07	11.35	11.78	11.9	12.59	12.35	12.04	18.41	13.58
L2	6.54	0	1.1	3.59	4.82	5.24	5.37	6.05	5.84	5.51	11.87	7.4
L3	7.35	1.1	0	2.74	4.05	4.49	4.64	5.35	5.03	4.74	11.12	7.15
L4	10.07	3.59	2.74	0	1.33	1.79	1.95	2.66	2.28	2	8.39	5.12
L5	11.35	4.82	4.05	1.33	0	0.46	0.62	1.33	1.04	0.7	7.08	4.16
L6	11.78	5.24	4.49	1.79	0.46	0	0.18	0.88	0.7	0.32	6.64	3.86
L7	11.9	5.37	4.64	1.95	0.62	0.18	0	0.71	0.7	0.33	6.51	3.7
L8	12.59	6.05	5.35	2.66	1.33	0.88	0.71	0	0.78	0.75	5.82	3.34
L9	12.35	5.84	5.03	2.28	1.04	0.7	0.7	0.78	0	0.39	6.11	4.11
L10	12.04	5.51	4.74	2	0.7	0.32	0.33	0.75	0.39	0	6.39	3.95
L11	18.41	11.87	11.12	8.39	7.08	6.64	6.51	5.82	6.11	6.39	0	6.27

L12	13.58	7.4	7.15	5.12	4.16	3.86	3.7	3.34	4.11	3.95	6.27	0
-----	-------	-----	------	------	------	------	-----	------	------	------	------	---

Berdasarkan visualisasi data matriks berdimensi 12×12 pada Tabel 3 di atas, terdapat beberapa pola karakteristik spasial penting yang memengaruhi beban komputasi penentuan rute wisata di Kota Palembang. Secara matematis, matriks ini memiliki sifat simetris pasang-surut yang presisi ($L_i, L_j = L_j, L_i$), dengan nilai elemen diagonal utama bernilai tepat 0.00 km yang mengindikasikan bahwa tidak ada bobot jarak yang terbentuk ketika suatu lokasi dievaluasi terhadap dirinya sendiri. Melalui hasil perhitungan *Haversine Formula* tersebut, terlihat adanya klusterisasi geografis dengan kerapatan yang sangat tinggi pada area pusat kota. Kluster inti ini melibatkan objek wisata PIM (L5), Martabak Har (L6), Masjid Agung (L7), Jembatan Ampera (L8), Benteng Kuto Besar (L9), dan Pempek Palembang (L10) dengan rentang jarak relatif yang sangat pendek, yaitu berkisar antara 0,18 km hingga 1,33 km saja. Kerapatan spasial pada kluster pusat kota ini mengindikasikan bahwa pergerakan wisatawan di area tersebut akan sangat efisien, namun membutuhkan ketelitian algoritma agar tidak terjadi kunjungan berulang (*sub-tour*).

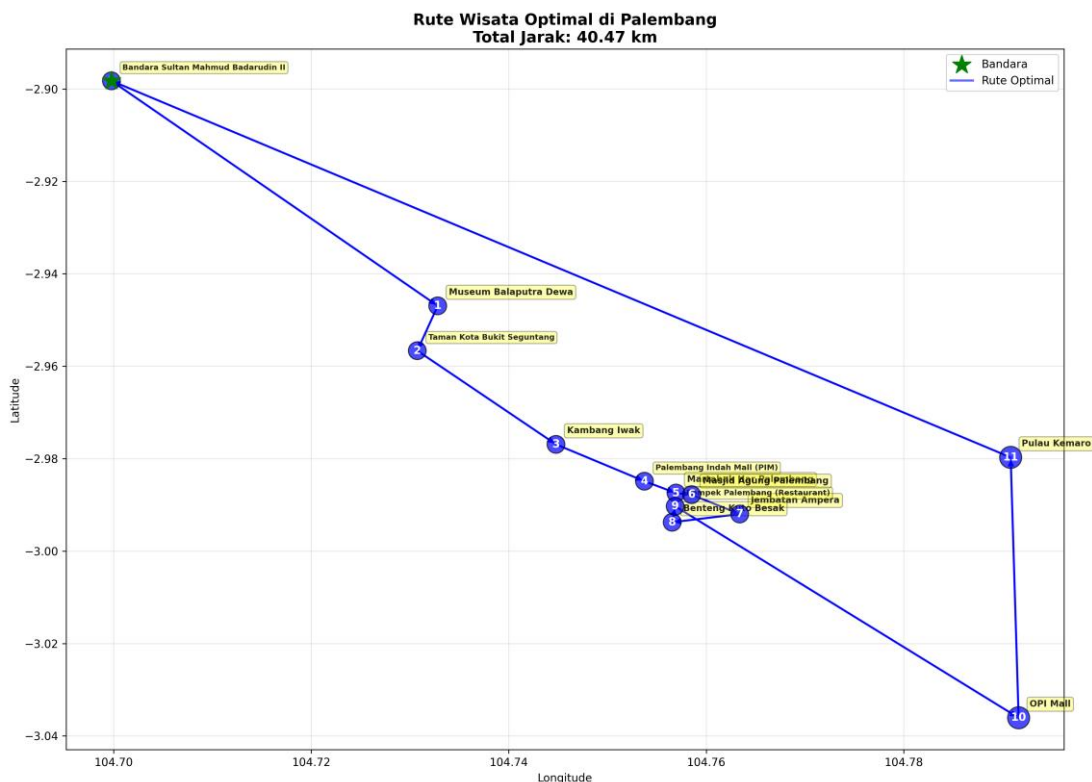
Sebaliknya, data pada Tabel 3 juga memperlihatkan adanya beberapa simpul eksternal yang bertindak sebagai *outliers* spasial karena memiliki nilai magnitudo jarak yang signifikan terhadap kluster pusat kota. Bandara Sultan Mahmud Badarudin II (L1) selaku simpul awal (*depot*) memiliki jarak ambang terjauh yang berkisar antara 6,54 km hingga 13,58 km dari seluruh objek wisata. Selain itu, OPI Mall (L11) di sisi selatan dan Pulau Kemaro (L12) di sisi timur juga memiliki nilai variansi jarak yang cukup besar dari objek wisata lainnya. Struktur variasi bobot jarak yang heterogen antara kluster pusat kota yang sangat rapat dan titik eksternal yang berjauhan inilah yang memicu kompleksitas permasalahan TSP. Oleh karena itu, matriks jarak ini digunakan sebagai *Cost Matrix* utama yang dimasukkan ke dalam sistem pengolahan data untuk dioptimasi secara eksak menggunakan Algoritma *Branch and Bound* pada tahap berikutnya.

4.3. Analisis Optimasi Rute Menggunakan Algoritma *Branch and Bound*

Matriks jarak berdimensi 12×12 yang telah terbentuk melalui kalkulasi *Haversine Formula* pada Tabel 3 kemudian diolah sebagai matriks biaya (*cost matrix*) utama di dalam sistem pencarian rute. Matriks ini dievaluasi secara eksak menggunakan Algoritma *Branch and Bound* untuk menyelesaikan permasalahan TSP pada objek wisata di Kota Palembang. Secara mekanis, operasi algoritma ini diawali dengan mengeksekusi prosedur reduksi baris dan kolom pada simpul akar (*root node*) yang merepresentasikan titik keberangkatan awal wisatawan, yaitu Bandara Sultan Mahmud Badarudin II (L1). Proses reduksi dilakukan dengan mengidentifikasi nilai elemen terkecil pada setiap baris dan kolom, kemudian mengurangkan seluruh elemen pada baris atau kolom tersebut dengan nilai minimum yang ditemukan. Akumulasi dari seluruh nilai pengurang tersebut dikunci sebagai nilai batas bawah (*lower bound*) absolut awal, yang berfungsi sebagai acuan estimasi jarak minimum bagi seluruh ruang solusi sirkuit perjalanan.

Setelah batas bawah pada simpul akar ditetapkan, algoritma secara dinamis membangun pohon keputusan (*search tree*) melalui tahapan percabangan (*branching*) dengan mengeksplorasi simpul-simpul anak yang melambangkan alternatif urutan destinasi berikutnya. Pada setiap percabangan jalur yang terbentuk dari satu lokasi ke lokasi lain ($L_i \rightarrow L_j$), matriks biaya mengalami penyesuaian bobot di mana elemen pada baris i dan kolom j diubah nilainya menjadi tak terhingga (∞). Langkah penyesuaian ini sangat krusial di dalam pemodelan TSP untuk mengeliminasi terbentuknya sub-tur (*sub-tour*) atau mencegah sistem merekomendasikan kunjungan berulang pada objek wisata yang sama sebelum seluruh lokasi selesai dikunjungi. Dari setiap matriks baru yang telah disesuaikan, nilai *lower bound* spesifik dihitung kembali secara bertahap. Apabila nilai batas bawah dari suatu cabang simpul baru terdeteksi telah melebihi atau sama dengan nilai solusi terbaik sementara yang berhasil ditemukan (*upper bound*), maka algoritma secara otomatis mengeksekusi fungsi pemangkasan (*pruning*). Cabang yang tidak efisien tersebut langsung dieliminasi dari ruang solusi, lalu sistem melakukan pencarian mundur (*backtracking*) untuk menguji cabang aktif lain yang memiliki nilai *bound* lebih kecil dan potensial.

Melalui proses iterasi berbasis evaluasi nilai *bound* yang konvergen tersebut, seluruh ruang solusi berhasil dievaluasi secara tuntas dan cepat tanpa harus membongkar seluruh kombinasi rute faktorial secara *brute force* yang memakan waktu komputasi lama. Berdasarkan hasil keluaran dari pengolahan program, Algoritma *Branch and Bound* mencapai solusi mutlak dengan mengunci satu kombinasi rute sirkular tunggal yang paling optimum. Urutan rekomendasi tahapan rute perjalanan sirkular terbaik bagi wisatawan di Kota Palembang hasil optimasi sistem tersebut dapat dilihat secara jelas pada Gambar 2.



Gambar 2. Hasil Plot Visualisasi Rute Wisata Optimal Kota Palembang Berbasis Algoritma *Branch and Bound*

Berdasarkan urutan sirkuit perjalanan pada Gambar 2 di atas, terlihat bahwa pola pergerakan geografis yang dihasilkan oleh algoritma bergerak secara linier, searah, dan sangat teratur, sehingga berhasil menghindari tumpang tindih (*overlapping*) jalur lintas maupun pemborosan energi perjalanan. Wisatawan memulai perjalanan dari Bandara Sultan Mahmud Badarudin II (L1) selaku pintu gerbang utama (*depot*). Rute kemudian mengalir mulus ke arah selatan luar kota menyusuri objek wisata sejarah dan kebudayaan, dimulai dari Museum Balaputra Dewa (L2) dilanjutkan menuju Taman Kota Bukit Siguntang (L3), sebelum akhirnya merapat ke kawasan terbuka hijau Kambang Iwak (L4).

Setelah melewati fase awal perjalanan, rute secara dinamis memasuki area komersial di pusat kota Palembang, dimulai dari Palembang Indah Mall (L5) dan berlanjut ke destinasi kuliner legendaris Martabak Har Palembang (L6). Area inti pusat kota diselesaikan secara sangat efisien oleh algoritma dengan menyisir lokasi-lokasi religi dan sejarah yang letaknya berdekatan secara berurutan, yaitu Masjid Agung Palembang (L7), melintasi landmark Jembatan Ampera (L8), menuju Benteng Kuto Besak (L9), hingga ke tempat singgah kuliner Pempek Palembang (L10). Setelah klaster pusat kota yang padat selesai dilewati, jalur ditarik ke arah selatan untuk menjangkau OPI Mall (L11) dan dilanjutkan memotong ke arah timur menuju destinasi budaya Pulau Kemaro (L12). Perjalanan wisata sirkular ini ditutup secara sempurna dengan mengambil jalur lurus ke utara kembali menuju Bandara Sultan Mahmud Badarudin II (L1).

Penerapan rute hasil optimasi komputasi berbasis Algoritma *Branch and Bound* ini menghasilkan total jarak tempuh akumulatif yang paling minimum, yaitu tepat sebesar 40,47 kilometer. Selain efisiensi dari aspek spasial, pengujian performa algoritma ini juga mencatatkan waktu eksekusi (*execution time*) yang sangat responsif, yaitu selama 12,84 detik. Kecepatan pemrosesan ini membuktikan bahwa mekanisme pemangkasan (*pruning*) pada algoritma *Branch and Bound* bekerja secara efektif dalam mengeliminasi jutaan kombinasi sub-tur yang tidak potensial sebelum ruang solusi meluas, sehingga komputasi tidak terjebak pada kendala *exponential growth* yang biasa terjadi pada metode pencarian konvensional.

Hasil pengujian komprehensif ini memberikan pembuktian empiris yang valid secara matematis dan komputasional bahwa integrasi metrik sferis permukaan bumi menggunakan *Haversine Formula* dan penentuan solusi eksak berbasis *Branch and Bound* mampu menyelesaikan kompleksitas permasalahan TSP rute wisata di Kota Palembang secara optimal. Sistem ini terbukti sukses memangkas jarak tempuh yang tidak perlu di lapangan dengan waktu respons sistem yang singkat, sehingga layak menjadi model acuan andal bagi agensi pariwisata maupun wisatawan mandiri dalam menghemat jarak, waktu tempuh, serta menekan pengeluaran akomodasi transportasi selama berwisata di Kota Palembang.

5. Kesimpulan

Penelitian ini berhasil menerapkan integrasi *Haversine Formula* dan Algoritma *Branch and Bound* untuk menyelesaikan permasalahan optimasi rute wisata di Kota Palembang berbasis TSP. *Haversine Formula* digunakan untuk menghitung jarak geografis antar objek wisata berdasarkan koordinat latitude dan longitude secara akurat, sedangkan Algoritma *Branch and Bound* digunakan untuk menentukan rute perjalanan paling optimal dengan proses branching, bounding, dan pruning yang efektif dalam memangkas ruang pencarian solusi. Berdasarkan hasil pengujian, sistem berhasil menghasilkan rute wisata sirkular dengan total jarak minimum sebesar 40,47 kilometer dan waktu eksekusi sebesar 12,84 detik.

Selain mampu menghasilkan rute yang efisien, penelitian ini juga menunjukkan bahwa pemanfaatan *OpenStreetMap* sebagai sumber data spasial memberikan keunggulan berupa akuisisi koordinat lokasi secara otomatis, dinamis, dan tanpa biaya. Dengan demikian, sistem yang dibangun mampu membantu wisatawan menghemat jarak, waktu perjalanan, dan biaya transportasi selama berwisata di Kota Palembang. Untuk penelitian selanjutnya, sistem dapat dikembangkan dengan menambahkan parameter lain seperti kondisi lalu lintas real-time, waktu tempuh, dan preferensi pengguna agar hasil rekomendasi rute menjadi lebih adaptif dan realistis.

Daftar Pustaka

- [1] Q. P. Mulya and G. Yudana, "Analisis Pengembangan Potensi Kawasan Wisata Sungai Musi sebagai Tujuan Wisata di Kota Palembang," *Jurnal Cakra Wisata*, vol. 19, pp. 41–54, 2018.
- [2] W. F. Mahmudy, "Optimasi Multi Travelling Salesman Problem (M-TSP) Menggunakan Algoritma Genetika," in *Seminar Nasional Basic Science V*, Malang: FMIPA, Universitas Brawijaya, 2008, pp. 1–6.
- [3] Y. D. Prasetyo, "Penyelesaian Travelling Salesman Problem dengan Algoritma Branch and Bound," *Jurnal MATEMATICS PAEDAGOGIC*, vol. 1, no. 2, pp. 162–168, 2017, [Online]. Available: www.jurnal.una.ac.id/index/jmp
- [4] E. Nurrohmah and D. Sulistioningrum, "OpenStreetMap sebagai Alternatif Teknologi dan Sumber Data Pemetaan Desa," *Seminar Nasional Geomatika 2018: Penggunaan dan Pengembangan Produk Informasi Geospasial Mendukung Daya Saing Nasional*, pp. 787–796, 2018, [Online]. Available: <https://www.openstreetmap.org/>
- [5] S. S. G. Witin, W. D. Permatasari, N. Aminah, P. Rande, F. D. T. Amijaya, and D. F. Putri, "Penerapan Algoritma Branch and Bound untuk Optimasi Rute Wisata di Kalimantan Timur Berdasarkan Traveling Salesman Problem," *Jurnal Ilmiah Matematika*, vol. 13, no. 2, pp. 197–205, 2025.
- [6] M. Mondal and D. Srivastava, "A Genetic Algorithm-Based Approach to Solve a New Time-Limited Travelling Salesman Problem," *International Journal of Distributed Systems and Technologies*, vol. 14, no. 2, pp. 1–14, 2023, doi: 10.4018/IJDST.317377.
- [7] F. S. Gharehchopogh, B. Abdollahzadeh, and B. Arasteh, "An Improved Farmland Fertility Algorithm with Hyper-Heuristic Approach for Solving Travelling Salesman Problem," *CMES - Computer Modeling in Engineering and Sciences*, vol. 135, no. 3, pp. 1981–2006, 2023, doi: 10.32604/cmes.2023.024172.
- [8] A. R. Putri and M. Widyastiti, "Penerapan Algoritma Branch and Bound untuk Jalur Terpendek dan Maksimalisasi Keuntungan," *INTERVAL: Jurnal Ilmiah Matematika*, vol. 4, no. 2, pp. 86–98, Sep. 2024.
- [9] I. F. Mutiara and M. Azalia, "Penerapan Algoritma Branch and Bound dalam Menyelesaikan Penjadwalan Flowshop," *TALENTE Conference Series: Energy & Engineering*, vol. 6, pp. 171–176, 2023.
- [10] I. M. D. Pratiyaksa, A. F. Setiawan, and D. Rudhistiar, "Sistem Penerapan Metode Haversine pada Aplikasi Pencarian Toko Vape Terdekat di Kecamatan Lowokwaru Berbasis Mobile Android," *JATI (Jurnal Mahasiswa Teknik Informatika)*, vol. 8, pp. 7486–7493, Aug. 2024.
- [11] A. P. Irawan and R. Adawiyah, "Penerapan Metode Haversine dalam Pencarian Lokasi Penjualan Alkes di Kota Medan Berbasis Android," *JID (Jurnal Info Digit)*, vol. 2, pp. 1464–1477, Nov. 2024, [Online]. Available: <http://kti.potensi-utama.ac.id/index.php/JID>
- [12] F. M. Gurnitowati, Rochmad, and Supriyono, "Penerapan Algoritma Branch and Bound untuk Menentukan Rute Objek Wisata di Kota Semarang," *UNNES Journal of Mathematics*, vol. 3, no. 1, pp. 49–55, 2014, [Online]. Available: <http://journal.unnes.ac.id/sju/index.php/ujm>

- [13] E. Retnoningsih and F. N. Khasanah, "Rekomendasi Objek Wisata Provinsi Jawa Barat dengan Algoritma Branch and Bound," *Jurnal Penelitian Ilmu Komputer, System Embedded & Logic*, vol. 6, no. 1, pp. 29–40, Mar. 2018.