

PENGGUNAAN METODE *DYNAMIC PROGRAMMING* DAN *CHEAPEST INSERTION HEURISTIC* UNTUK MENENTUKAN *TOUR* TERPENDEK LOKASI ANTAR CANDI DI YOGYAKARTA

(SKRIPSI)

Oleh

**AFINA FEBRI YANTI
NPM. 2217031144**



**FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM
UNIVERSITAS LAMPUNG
BANDAR LAMPUNG
2026**

ABSTRACT

USE OF DYNAMIC PROGRAMMING AND CHEAPEST INSERTION HEURISTIC METHODS TO DETERMINE THE SHORTEST TOUR LOCATION BETWEEN TEMPLES IN YOGYAKARTA

By

Afina Febri Yanti

Tourism is one of the economic sectors that significantly contributes to improving community welfare and regional development; therefore, efficiency in managing travel routes is a crucial aspect. This study aims to optimize tourist routes among temple locations in Yogyakarta using the Travelling Salesman Problem (TSP) model, which determines the shortest tour by visiting each location exactly once and returning to the starting point. The methods used are Dynamic Programming and the Cheapest Insertion Heuristic, which are calculated manually and supported by the Python programming language. The results show that the Cheapest Insertion Heuristic method produces a more optimal route compared to Dynamic Programming, although the difference in total travel time is relatively small. Therefore, the Cheapest Insertion Heuristic method is more effective for this case.

Keywords: Travelling Salesman Problem, Dynamic Programming, Cheapest Insertion Heuristic, Optimization, Tourism, Temples, Yogyakarta.

ABSTRAK

PENGGUNAAN METODE *DYNAMIC PROGRAMMING* DAN *CHEAPEST INSERTION HEURISTIC* UNTUK MENENTUKAN *TOUR* TERPENDEK LOKASI ANTAR CANDI DI YOGYAKARTA

Oleh

Afina Febri Yanti

Pariwisata merupakan salah satu sektor ekonomi yang memiliki kontribusi besar terhadap peningkatan kesejahteraan masyarakat dan pertumbuhan wilayah, sehingga efisiensi dalam pengelolaan rute perjalanan menjadi bagian yang sangat penting. Penelitian ini bertujuan untuk mengoptimalkan rute wisata antar lokasi candi di Yogyakarta dengan menggunakan model *Travelling Salesman Problem* (TSP), yaitu menentukan *tour* terpendek dengan mengunjungi seluruh titik tepat satu kali dan kembali ke titik awal. Metode yang digunakan adalah *Dynamic Programming* dan *Cheapest Insertion Heuristic*, yang dihitung secara manual serta didukung dengan bahasa pemrograman Python. Hasil penelitian menunjukkan bahwa metode *Cheapest Insertion Heuristic* menghasilkan rute yang lebih optimal dibandingkan *Dynamic Programming*, meskipun selisih total waktu tempuh yang diperoleh relatif kecil. Dengan demikian, metode *Cheapest Insertion Heuristic* lebih efektif digunakan dalam kasus ini.

Kata kunci: *Travelling Salesman Problem*, *Dynamic Programming*, *Cheapest Insertion Heuristic*, Optimisasi, Pariwisata, Candi, Yogyakarta.

PENGUNAAN METODE *DYNAMIC PROGRAMMING* DAN *CHEAPEST INSERTION HEURISTIC* UNTUK MENENTUKAN *TOUR* TERPENDEK LOKASI ANTAR CANDI DI YOGYAKARTA

Oleh

AFINA FEBRI YANTI

Skripsi

Sebagai Salah Satu Syarat untuk Memperoleh Gelar
SARJANA MATEMATIKA

Pada

Jurusan Matematika

Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam



**FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM
UNIVERSITAS LAMPUNG
BANDAR LAMPUNG
2026**

Judul Skripsi

**PENGGUNAAN METODE *DYNAMIC*
PROGRAMMING DAN *CHEAPEST*
INSERTION *HEURISTIC* UNTUK
MENENTUKAN *TOUR* TERPENDEK
LOKASI ANTAR CANDI DI YOGYAKARTA**

Nama Mahasiswa

Afna Febri Yanti

Nomor Pokok Mahasiswa

2217031144

Program Studi

Matematika

Fakultas

Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam



MENYETUJUI

1. Komisi Pembimbing

Prof. Dra. Wamiliana, MA., Ph.D.

NIP 196311081989022001

Siti Laelatul Chasanah, S.Pd., M.Si.

NIP 199306012019032021

**2. Wakil Dekan Bidang Akademik dan Kerjasama
Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam
Universitas Lampung**

Mulyono, S.Si., M.Si., Ph.D.

NIP 197406112000031002

MENGESAHKAN

1. Tim Penguji

Ketua : Prof. Dra. Wamiliana, MA., Ph.D.

**Sekretaris : Siti Laelatul Chasanah, S.Pd.,
M.Si.**

**Penguji
Bukan Pembimbing : Prof. Dr. Asmiati, S.Si., M.Si.**

2. Dekan Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam

Dr. Eng. Heri Satria, S.Si., M.Si.

NIP 197110012005011002

Tanggal Lulus Ujian Skripsi: 06 April 2026



PERNYATAAN SKRIPSI MAHASISWA

Yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : Afina Febri Yanti
Nomor Pokok Mahasiswa : 2217031144
Jurusan : Matematika
Judul Skripsi : **PENGGUNAAN METODE *DYNAMIC PROGRAMMING* DAN *CHEAPEST INSERTION HEURISTIC* UNTUK MENENTUKAN *TOUR TERPENDEK* LOKASI ANTAR CANDI DI YOGYAKARTA**

Dengan ini menyatakan bahwa skripsi ini adalah hasil pekerjaan saya sendiri. Apabila kemudian hari terbukti bahwa skripsi ini merupakan hasil salinan atau dibuat oleh orang lain, maka saya bersedia menerima sanksi sesuai dengan ketentuan akademik yang berlaku.

Bandar Lampung, 06 April 2026



Afina Febri Yanti

RIWAYAT HIDUP

Penulis memiliki nama lengkap Afina Febri Yanti yang lahir di Pringsewu pada tanggal 24 Februari 2004. Penulis merupakan anak keempat dari lima bersaudara dari pasangan Bapak Antoro dan Ibu Sri Umi.

Penulis menempuh pendidikan awal di TK Almunawaroh pada tahun 2009-2010, pendidikan Sekolah Dasar di SD Negeri 1 Natar pada tahun 2010-2016, pendidikan Sekolah Menengah Pertama di SMP Negeri 1 Natar pada tahun 2016-2019. Pada tahun 2019-2022 penulis menempuh pendidikan Sekolah Menengah Atas di SMA Negeri 1 Natar, Lampung Selatan.

Pada tahun 2022, penulis melanjutkan pendidikan di perguruan tinggi Universitas Lampung melalui jalur Seleksi Bersama Masuk Perguruan Tinggi Negeri (SBMPTN) dan terdaftar sebagai mahasiswi S1 di Jurusan Matematika Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam (FMIPA). Selama menjadi mahasiswa, penulis aktif berorganisasi di Himpunan Mahasiswa Jurusan Matematika pada tahun 2023 sebagai anggota Biro Dana dan Usaha.

Pada awal tahun 2025 penulis melaksanakan Kuliah Kerja Nyata (KKN) di Desa Karang Endah, Kecamatan Terbanggi Besar, Kabupaten Lampung Tengah pada tanggal 06 Januari sampai 06 Februari 2025. Kemudian, pada tanggal 19 Mei sampai 27 Juni 2025 penulis melaksanakan Kerja Praktik (KP) di PT. Kereta Api Indonesia Divre IV Tanjungkarang, Kota Bandar Lampung selama 40 hari.

KATA INSPIRASI

”Boleh jadi kamu tidak menyenangi sesuatu, padahal itu baik bagimu, dan boleh jadi kamu menyukai sesuatu, padahal itu tidak baik bagimu, Allah mengetahui, sedangkan kamu tidak.”

(Q.S. Al-Baqarah, 2:216)

”Sesungguhnya bersama kesulitan ada kemudahan. Maka, apabila engkau telah selesai (dari suatu urusan), tetaplah bekerja keras (untuk urusan yang lain).”

(Q.S. Al-Insyirah, 94:6-7)

”Bahwa manusia hanya memperoleh apa yang telah diusahakannya.”

(Q.S. An-Najm, 53:39)

”Nothing is impossible. If not, make it possible. Just keep going until you find your dream.”

(Choi Yeonjun)

”We are born to be real, not to be perfect.”

(Min Yoongi)

PERSEMBAHAN

Dengan mengucapkan Alhamdulillah dan rasa syukur atas segala puji dan kehadiran Allah SWT. yang telah melimpahkan nikmat serta hidayah-Nya sehingga skripsi ini dapat diselesaikan dengan baik, tak lupa juga shalawat serta salam selalu tercurahkan kepada junjungan kita Nabi Muhammad SAW. Dengan penuh rasa syukur dan bahagia, saya persembahkan rasa terimakasih saya kepada:

Keluarga Tercinta

Terimakasih kepada Ayah, Ibu, Kakak, dan Adik atas segala pengorbanan, motivasi, doa serta dukungannya selama ini. Terimakasih Ayah dan Ibu yang telah memberikan pelajaran yang berharga kepada anakmu ini tentang makna perjalanan hidup yang sebenarnya sehingga kelak bisa menjadi orang yang bermanfaat bagi banyak orang.

Dosen Pembimbing dan Pembahas

Terimakasih kepada dosen pembimbing dan pembahas yang sudah sangat membantu, memberikan motivasi, memberikan arahan serta ilmu yang berharga.

Sahabat-sahabatku

Terimakasih kepada semua sahabatku yaitu orang-orang baik yang telah memberikan pengalaman, semangat, motivasinya, serta doa-doanya dan senantiasa memberikan dukungan dalam hal apapun.

Almamater Tercinta

Universitas Lampung

SANWACANA

Alhamdulillah, puji dan syukur penulis panjatkan kepada Allah SWT atas rahmat dan hidayah-Nya, shalawat serta salam selalu tercurahkan kepada baginda Nabi Muhammad SAW sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi yang berjudul "Penggunaan Metode *Dynamic Programming* dan *Cheapest Insertion Heuristic* untuk Menentukan *Tour* Terpendek Lokasi antar Candi di Yogyakarta".

Dalam proses menyusun skripsi ini, banyak pihak yang telah membantu penulis dengan memberikan bimbingan, dukungan, arahan, motivasi, kritik, saran serta doa sehingga skripsi ini dapat diselesaikan. Oleh karena itu, dalam kesempatan ini penulis mengucapkan terimakasih kepada:

1. Ibu Prof. Dra. Wamiliana, MA., Ph.D., selaku Pembimbing I yang telah banyak meluangkan waktunya untuk memberikan arahan, bimbingan, motivasi, saran serta dukungan kepada penulis sehingga dapat menyelesaikan skripsi ini.
2. Ibu Siti Laelatul Chasanah, S.Pd., M.Si., selaku Pembimbing II yang telah banyak meluangkan waktunya untuk memberikan arahan, bimbingan, saran serta dukungan kepada penulis sehingga dapat menyelesaikan skripsi ini.
3. Ibu Prof. Dr. Asmiati, S.Si., M.Si., selaku Pembahas yang telah bersedia memberikan kritik dan saran serta evaluasi kepada penulis sehingga dapat menjadi lebih baik lagi.
4. Ibu Widiarti. S.Si., M.Si., selaku dosen Pembimbing Akademik yang selalu membimbing penulis selama proses perkuliahan hingga penyusunan skripsi.
5. Bapak Dr. Aang Nuryaman, S.Si., M.Si. selaku Ketua Jurusan Matematika Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Lampung.
6. Bapak Dr. Ahmad Faisol, S.Si., M.Sc., selaku Sekretaris Jurusan Matematika Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Lampung.

7. Bapak Dr. Eng. Heri Satria, S.Si., M.Si., selaku Dekan Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Lampung.
8. Seluruh dosen, staf, dan karyawan Jurusan Matematika Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Lampung.
9. Keluarga tercinta, ayah, ibu, kakak, serta adik yang senantiasa memberikan dukungan, motivasi, serta doa kepada penulis.
10. Sahabat serta teman-teman yang selalu memberikan semangat, dukungan, bantuan serta motivasi kepada penulis.
11. Teman-teman Kuliah Kerja Nyata (KKN) dan rekan Kerja Praktik (KP) yang selalu memberi dukungan dan juga semangat kepada penulis.

Semoga skripsi ini dapat bermanfaat bagi kita semua. Penulis menyadari bahwa skripsi ini masih jauh dari sempurna, sehingga penulis mengharapkan kritik dan saran yang membangun untuk menjadikan skripsi ini lebih baik lagi.

Bandar Lampung, 06 April 2026
Penulis,

Afina Febri Yanti

DAFTAR ISI

	Halaman
DAFTAR TABEL	iv
DAFTAR GAMBAR	v
I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang Masalah	1
1.2 Tujuan Penelitian	2
1.3 Manfaat Penelitian	2
II TINJAUAN PUSTAKA	4
2.1 Graf	4
2.2 <i>Travelling Salesman Problem</i> (TSP)	5
2.3 Metode <i>Dynamic Programming</i> (DP)	6
2.4 Metode <i>Cheapest Insertion Heuristic</i> (CIH)	10
2.5 Python	12
2.6 <i>Google Maps</i>	12
2.7 <i>Google Earth</i>	13
III METODE PENELITIAN	14
3.1 Waktu dan Tempat Penelitian	14
3.2 Data Penelitian	14
3.3 Tahapan Penelitian	14
IV HASIL DAN PEMBAHASAN	16
4.1 Deskripsi Data	16
4.2 Proses Penyelesaian <i>Travelling Salesman Problem</i> (TSP) dengan Waktu Tempuh (satuan menit) Menggunakan Metode <i>Dynamic Programming</i>	20
4.3 Proses Penyelesaian <i>Travelling Salesman Problem</i> (TSP) dengan Waktu Tempuh (satuan menit) Menggunakan Metode <i>Cheapest Insertion Heuristic</i>	29
V KESIMPULAN DAN SARAN	62
5.1 Kesimpulan	62
5.2 Saran	62
DAFTAR PUSTAKA	63

DAFTAR TABEL

Tabel	Halaman
2.1 Waktu tempuh antar 5 lokasi toko	8
2.2 Waktu tempuh antar 5 minimarket pada <i>Cheapest Insertion Heuristic</i>	11
2.3 Implementasi langkah metode <i>Cheapest Insertion Heuristic</i>	11
4.1 Daftar titik dan alamat lokasi candi di Yogyakarta	17
4.2 Data waktu tempuh antar lokasi candi di Yogyakarta (satuan menit)	19
4.3 Proses penyisipan ke-1	29
4.4 Proses penyisipan ke-2	30
4.5 Proses penyisipan ke-3	31
4.6 Proses penyisipan ke-4	33
4.7 Proses penyisipan ke-5	35
4.8 Proses penyisipan ke-6	37
4.9 Proses penyisipan ke-7	39
4.10 Proses penyisipan ke-8	42
4.11 Proses penyisipan ke-9	44
4.12 Proses penyisipan ke-10	47
4.13 Proses penyisipan ke-11	49
4.14 Proses penyisipan ke-12	51
4.15 Proses penyisipan ke-13	53
4.16 Proses penyisipan ke-14	55
4.17 Proses penyisipan ke-15	56
4.18 Proses penyisipan ke-16	57

DAFTAR GAMBAR

Gambar	Halaman
2.1 Contoh graf.....	4
2.2 Contoh graf Hamiltonian.....	5
2.3 Contoh graf berbobot.....	5
2.4 <i>Stage</i> dari 5 lokasi toko.....	8
2.5 Lintasan sementara pada contoh <i>Dynamic Programming</i>	9
2.6 Bobot lintasan lain pada contoh <i>Dynamic Programming</i>	9
2.7 Hasil akhir lintasan pada contoh <i>Dynamic Programming</i>	9
3.1 Diagram alir penelitian.....	15
4.1 Lokasi candi di Yogyakarta yang menjadi objek penelitian ini.....	16
4.2 Graf <i>stage Dynamic Programming</i>	20
4.3 Lintasan sementara <i>Dynamic Programming</i>	24
4.4 Perbaikan lintasan sementara <i>Dynamic Programming</i>	24
4.5 Lintasan baru pada masing-masing <i>stage</i>	25
4.6 Hasil gabungan lintasan.....	25
4.7 Eliminasi satu sisi terbesar di masing-masing <i>stage</i>	26
4.8 Graf setelah satu sisi terbesar dieliminasi pada setiap <i>stage</i>	26
4.9 Penggabungan kedua lintasan untuk optimasi.....	27
4.10 Hasil lintasan akhir metode <i>Dynamic Programming</i>	28
4.11 Hasil lintasan akhir metode <i>Dynamic Programming</i> pada peta.....	28
4.12 Hasil lintasan metode <i>Cheapest Insertion Heuristic</i> pada peta.....	58
4.13 <i>Syntax Python Cheapest Insertion Heuristic</i>	60
4.14 Hasil Python <i>Cheapest Insertion Heuristic</i>	61
4.15 Hasil lintasan metode <i>Cheapest Insertion Heuristic</i> dengan Python pada peta.....	61

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang Masalah

Pariwisata merupakan salah satu sektor ekonomi yang memiliki kontribusi besar terhadap peningkatan kesejahteraan masyarakat dan pertumbuhan wilayah. Zhang dkk. (2023) menegaskan pentingnya koordinasi antara tingkat efisiensi dan pembangunan pariwisata agar tercipta daya saing regional yang berkelanjutan. Oleh sebab itu, optimalisasi rute perjalanan wisata menjadi bagian penting dari upaya meningkatkan efisiensi tersebut karena berpengaruh langsung terhadap waktu tempuh, biaya operasional, serta pengalaman wisatawan.

Pengembangan model matematis untuk mengoptimalkan rute wisata berdasarkan efisiensi biaya maupun waktu tempuh yang menunjukkan bahwa pendekatan kuantitatif mampu memberikan solusi yang efektif dalam perencanaan perjalanan. Salah satu penerapan yang dapat digunakan adalah *Travelling Salesman Problem* (TSP). *Travelling Salesman Problem* merupakan permasalahan untuk menentukan lintasan terpendek dari beberapa titik atau lokasi, dimulai dari titik awal yang selanjutnya mengunjungi seluruh titik tepat satu kali dan kembali lagi ke titik awal.

Malinovskiy (2025) menerapkan teori permainan berbasis lelang untuk meningkatkan efisiensi logistik pariwisata. Selain itu, penelitian di Indonesia juga menunjukkan minat serupa seperti penelitian Wibawa (2022) yang menerapkan algoritma *Brute Force* untuk menentukan rute wisata di Yogyakarta. Kemudian Hadi dkk. (2025) membandingkan algoritma *Christofides* dan *Cheapest Insertion Heuristic* (CIH) pada rute wisata di Jawa Barat dan menemukan bahwa metode heuristik memberikan hasil yang efisien. Pendekatan heuristik juga terus dikembangkan, seperti penelitian oleh Hanifah dkk. (2020) yang memodifikasi metode *Cheapest Insertion Heuristic* untuk optimasi rute pengangkutan sampah. Hasil dari beberapa penelitian tersebut menunjukkan bahwa metode heuristik mampu memberikan solusi mendekati optimal dengan waktu perhitungan yang efisien.

Kajian lain menyoroti pendekatan *Dynamic Programming* (DP) yang dinilai efektif untuk menyelesaikan masalah optimasi yaitu Salii & Sheka (2021) dan Ugonna dkk. (2024) yang mengembangkan model *Dynamic Programming* paralel dan modifikasi untuk menangani *Travelling Salesman Problem* berskala besar. Wahyono dkk. (2024) menunjukkan efektivitas *Dynamic Programming* dalam optimasi transportasi dan distribusi produk, sedangkan Ardiansyah & Wulandari (2024) membuktikan keberhasilan pendekatan tersebut untuk pemilihan rute ekspedisi optimal.

Sebagian besar penelitian *Dynamic Programming* masih berfokus pada sektor logistik atau distribusi barang bukan pada konteks perjalanan wisata, bahkan masih sedikit juga penerapan metode *Dynamic Programming* pada *Travelling Salesman Problem*. Oleh sebab itu, penelitian mengenai optimasi rute wisata di Yogyakarta akan menjadi relevan, mengingat wilayah ini memiliki banyak destinasi bersejarah, termasuk 18 titik candi yang tersebar di Yogyakarta. Penelitian ini akan dilakukan dengan menerapkan *Travelling Salesman Problem* menggunakan metode *Dynamic Programming* serta *Cheapest Insertion Heuristic* dalam optimasi rute wisata budaya. Penelitian ini diharapkan dapat memberikan kontribusi praktis bagi pengelolaan dan promosi wisata berkelanjutan di Yogyakarta.

1.2 Tujuan Penelitian

Adapun tujuan dari penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Menentukan *tour* terpendek antar lokasi candi di Yogyakarta dengan metode *Dynamic Programming* dan *Cheapest Insertion Heuristic*.
2. Melakukan perbandingan *Dynamic Programming* dan *Cheapest Insertion Heuristic* berdasarkan data waktu tempuh.

1.3 Manfaat Penelitian

Adapun manfaat dari proposal ini adalah sebagai berikut:

1. Mengetahui *tour* terpendek dari 18 titik lokasi candi di Yogyakarta dengan metode *Dynamic Programming* dan *Cheapest Insertion Heuristic*.

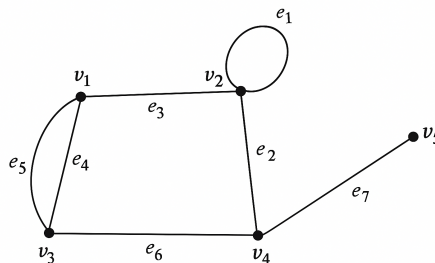
2. Sebagai pertimbangan bagi para wisatawan untuk menentukan *tour* terpendek saat ingin mengunjungi candi di Yogyakarta.
3. Menjadi referensi untuk peneliti selanjutnya.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Graf

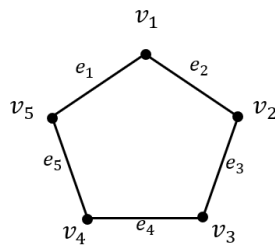
Graf merupakan suatu sistem yang terdiri dari dua himpunan, yaitu himpunan titik dan himpunan sisi. Secara matematis, graf dinyatakan sebagai $G = (V, E)$, dengan $V = \{v_1, v_2, \dots, v_n\}$ merupakan himpunan yang tak kosong sebagai himpunan titik (*vertex*), dan $E = \{e_{ij} \mid i, j \in V\}$ sebagai himpunan sisi (*edge*) yang boleh kosong. Setiap sisi e_{ij} menghubungkan sepasang titik tak berurutan (v_i, v_j) . Dengan demikian, dua titik v_i dan v_j yang dihubungkan oleh sisi e_{ij} disebut sebagai titik-titik ujung dari sisi tersebut (Buhaerah dkk., 2022).



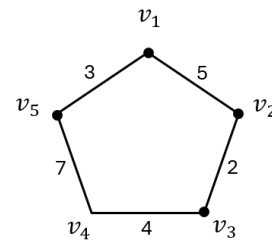
Gambar 2.1. Contoh graf.

Gambar 2.1 merupakan contoh graf G yang terdiri atas lima titik $(v_1, v_2, v_3, v_4, v_5)$ dan tujuh sisi (e_1, e_2, \dots, e_7) . Pada Gambar 2.1, setiap sisi menghubungkan dua titik tertentu, misalnya pada sisi e_1 yang membentuk *loop* (lingkaran) pada v_2 , dan sisi lainnya menghubungkan titik-titik yang berbeda. *Loop* merupakan sisi khusus dalam graf yang menghubungkan suatu titik dengan dirinya sendiri. Dalam teori graf, keberadaan *loop* dapat memengaruhi derajat titik. Derajat pada graf merupakan banyaknya sisi yang menempel dengan suatu titik. Selain itu, pada teori graf masih terdapat beberapa istilah diantaranya yaitu lintasan (*path*) yang merupakan suatu barisan titik dan sisi yang berurutan dengan diawali serta diakhiri oleh titik tetapi setiap titiknya hanya boleh muncul atau dilewati satu kali (Deo, 1974).

Siklus (*cycle*) yang merupakan lintasan tertutup (*sirkuit*). Eulerian adalah siklus dalam graf yang melewati semua sisi tepat satu kali tanpa batasan berapa kali melewati suatu titik dan kembali ke tempat semula. Sedangkan Hamiltonian yaitu siklus dalam graf yang melewati semua sisi tepat satu kali dilewati seperti contoh pada Gambar 2.2. Selain itu, terdapat graf berbobot (*weighted graph*) yang merupakan salah satu jenis graf dimana setiap sisi memiliki bobot atau nilai tertentu yang menyatakan jarak, waktu, atau biaya perjalanan seperti contoh pada Gambar 2.3.



Gambar 2.2. Contoh graf Hamiltonian.



Gambar 2.3. Contoh graf berbobot.

2.2 Travelling Salesman Problem (TSP)

Travelling Salesman Problem adalah salah satu masalah optimasi kombinatorial yang intensif dipelajari di bidang riset operasi dan ilmu komputer. Pada dasarnya, *Travelling Salesman Problem* bertujuan mencari rute terpendek untuk seorang pedagang keliling yang wajib mengunjungi setiap kota atau titik tertentu hanya sekali, lalu kembali ke titik awal, dengan total jarak tempuh yang seminimal mungkin (Christofides, 2022). Masalah ini diklasifikasikan sebagai *NP-hard*, sehingga solusi eksaknya semakin sulit dicapai seiring bertambahnya jumlah kota yang harus dikunjungi (Min dkk., 2023). Akibatnya, berbagai metode mulai dari pendekatan eksak, heuristik, hingga metaheuristik terus diinovasi untuk mendapatkan solusi yang hampir optimal dengan waktu komputasi yang lebih efisien (Zhang dkk., 2022).

Dalam perkembangan terbaru, pendekatan berbasis pembelajaran mesin mulai diterapkan untuk menyelesaikan *Travelling Salesman Problem* secara lebih adaptif. Min dkk. (2023) mengusulkan metode *unsupervised learning* yang memungkinkan

model *neural network* mempelajari pola rute optimal tanpa membutuhkan label atau data solusi sebelumnya. Model ini menunjukkan kinerja mendekati algoritma heuristik konvensional. Selanjutnya, Zhang dkk. (2022) mengembangkan pendekatan *hardness-adaptive curriculum learning*, yaitu strategi pelatihan yang secara bertahap memperkenalkan kasus *Travelling Salesman Problem* dari yang sederhana hingga kompleks. Pendekatan ini terbukti meningkatkan kemampuan generalisasi dan efisiensi pembelajaran model pada berbagai ukuran data *Travelling Salesman Problem*.

Metode metaheuristik juga terus dikembangkan karena kemampuannya menyeimbangkan eksplorasi dan eksploitasi ruang pencarian solusi. Gharehchopogh & Abdollahzadeh (2022) mengadaptasi algoritma *Harris Hawk Optimization* (HHO) untuk menyelesaikan *Travelling Salesman Problem* dan menunjukkan bahwa algoritma tersebut memiliki konvergensi cepat serta akurasi tinggi. Penelitian lanjutan oleh Gharehchopogh dkk. (2023) memperkenalkan *Improved Farmland Fertility Algorithm* (IFFA) dengan pendekatan *hyper-heuristic* yang mengoptimalkan proses pencarian solusi melalui mekanisme adaptif terhadap kondisi permasalahan. Hasilnya, algoritma ini mampu memberikan solusi yang lebih stabil dan efisien pada berbagai variasi dataset *Travelling Salesman Problem*.

2.3 Metode *Dynamic Programming* (DP)

Metode *Dynamic Programming* merupakan suatu pendekatan dalam penyelesaian masalah optimasi yang memecah persoalan kompleks menjadi sejumlah submasalah yang saling berkaitan dan disusun dalam beberapa tahap (*stage*). Setiap submasalah diselesaikan secara bertahap, kemudian hasilnya disimpan untuk digunakan kembali pada proses perhitungan berikutnya sehingga dapat meningkatkan efisiensi komputasi.

Berbagai penelitian menunjukkan bahwa *Dynamic Programming* telah banyak diterapkan dalam berbagai bidang optimasi. Ardiansyah & Wulandari (2024) menggunakan *Dynamic Programming* dalam pemilihan ekspedisi untuk menentukan alternatif terbaik secara bertahap. Wahyono dkk. (2024) serta Karim & Mohammad (2024) melakukan penerapan dalam penentuan rute transportasi dan distribusi produk agar waktu dan biaya minimum tercapai. Selain itu, Simbolon dkk. (2024) menunjukkan efektivitas *Dynamic Programming* pada perencanaan produksi padi, yang membuktikan bahwa metode ini mampu memberikan keputusan yang optimal.

Dalam penyelesaian *Travelling Salesman Problem*, *Dynamic Programming* perlu disesuaikan untuk menangani kompleksitas yang tinggi. Salah satu pendekatan yang dapat digunakan adalah berbasis tahap (*stage*), dimana proses perhitungan dilakukan secara bertahap dari kondisi awal hingga *stage* akhir. Berikut merupakan langkah-langkah penerapan *Dynamic Programming* dalam penyelesaian *Travelling Salesman Problem* (Ugonna dkk., 2024):

1. Menentukan titik awal (*starting point*), misalnya titik A sebagai titik awal perjalanan.
2. Menentukan tahap atau *stage*.
3. Menentukan arah perhitungan, yaitu alur maju (*forward*) atau alur mundur (*backward*).
4. Menghitung nilai fungsi minimum *Dynamic Programming* untuk setiap keadaan yang mungkin pada tiap *stage* secara bertahap.
5. Pada *stage* akhir, dipilih dua lintasan sementara yang memiliki biaya minimum sebagai kandidat solusi.
6. Selanjutnya dilakukan proses optimalisasi dengan memastikan seluruh titik telah dikunjungi, yaitu dengan membandingkan beberapa alternatif lintasan dan mengeliminasi sisi yang memiliki bobot lebih besar berdasarkan hasil perhitungan sebelumnya hingga diperoleh lintasan optimal.

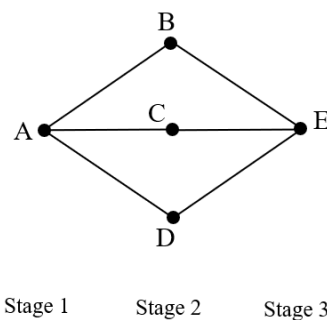
Fungsi nilai minimum pada setiap tahap (*stage*) dirumuskan sebagai berikut: $F_k(v_j) = \min\{C_{ij} + F_{k-1}(v_i)\}$ untuk alur maju dan $F_k(v_i) = \min\{C_{ij} + F_{k+1}(v_j)\}$ untuk alur mundur. C_{ij} merupakan *cost* atau biaya dari v_i ke v_j dan $F_{k-1}(v_i)$ merupakan nilai optimal yang diperoleh pada *stage* sebelumnya. k menunjukkan *stage* ke- k .

Sebagai ilustrasi, terdapat seorang sales yang harus mengunjungi 5 lokasi toko dengan tujuan meminimalkan total waktu tempuh perjalanan. Tabel 2.1 menunjukkan data waktu tempuh antar 5 toko tersebut dengan satuan menit.

Tabel 2.1. Waktu tempuh antar 5 lokasi toko

Toko	A	B	C	D	E
A	0	4	6	7	3
B	4	0	5	3	6
C	6	5	0	4	5
D	7	3	4	0	2
E	3	6	5	2	0

Langkah pertama adalah menentukan titik awal yaitu A dan titik lainnya di bagi menjadi beberapa *stage* seperti pada Gambar 2.4. Selanjutnya akan memulai perhitungan dengan alur maju.

Gambar 2.4. *Stage* dari 5 lokasi toko.

1. Stage 1

$$F_1(A) = 0$$

2. Stage 2

$$F_2(B) = C_{AB} + F_{2-1}(A) = 4 + 0 = 4$$

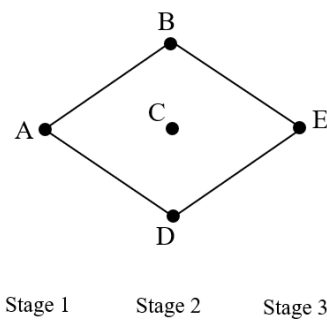
$$F_2(C) = C_{AC} + F_{2-1}(A) = 6 + 0 = 6$$

$$F_2(D) = C_{AD} + F_{2-1}(A) = 7 + 0 = 7$$

3. Stage 3

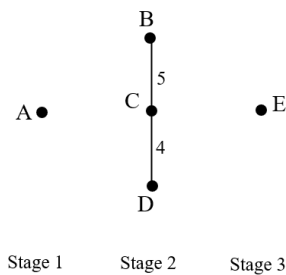
$$F_3(E) = \min \begin{cases} C_{BE} + F_{3-1}(B) = 6 + 4 = 10^* \\ C_{CE} + F_{3-1}(C) = 5 + 6 = 11 \\ C_{DE} + F_{3-1}(D) = 2 + 7 = 9^* \end{cases}$$

Pada tahap akhir didapat dua lintasan sementara dengan minimum waktu yaitu A-B-E dan A-D-E dengan bobot 10 dan 9 yang ada pada Gambar 2.5.

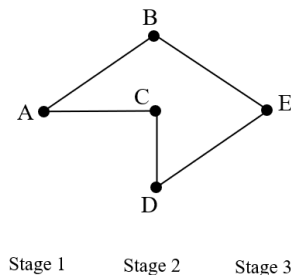


Gambar 2.5. Lintasan sementara pada contoh *Dynamic Programming*.

Langkah selanjutnya adalah melakukan optimalisasi dengan memastikan seluruh titik dikunjungi dalam lintasan. Proses ini dilakukan dengan membandingkan beberapa alternatif lintasan pada setiap *stage*, kemudian mengeliminasi sisi dengan bobot yang lebih besar berdasarkan hasil perhitungan sebelumnya, hingga diperoleh lintasan optimal. Didapat bahwa sisi B-C memiliki nilai bobot lebih besar dari sisi C-D seperti pada Gambar 2.6 dan sisi B-C memiliki kemungkinan untuk dieliminasi dan didapat bahwa lintasan akhir yaitu A-B-E-D-C-A dengan total waktu tempuh 22 menit seperti pada Gambar 2.7.



Gambar 2.6. Bobot lintasan lain pada contoh *Dynamic Programming*.



Gambar 2.7. Hasil akhir lintasan pada contoh *Dynamic Programming*.

2.4 Metode *Cheapest Insertion Heuristic* (CIH)

Metode *Cheapest Insertion Heuristic* merupakan salah satu algoritma heuristik yang digunakan untuk menyelesaikan *Travelling Salesman Problem*. Prinsip utama metode ini adalah menyisipkan titik yang belum dikunjungi ke dalam lintasan atau *subtour* yang sudah terbentuk dengan memilih posisi penyisipan yang memiliki biaya tambahan terkecil. Dengan cara tersebut, *Cheapest Insertion Heuristic* mampu menghasilkan solusi yang mendekati optimal tanpa memerlukan perhitungan kompleks seperti pada metode eksak (Pohan dkk., 2023). Secara umum, langkah-langkah metode *Cheapest Insertion Heuristic* untuk menyelesaikan *Travelling Salesman Problem* adalah sebagai berikut:

1. Menentukan titik awal dan selanjutnya pilih titik kedua untuk membentuk *subtour* awal yang memiliki jalur terpendek.
2. Membuat tabel sisi (i, j) yang merupakan pasangan dari titik-titik yang menghubungkan titik awal ke titik tujuan pada *subtour* saat itu.
3. Membuat kolom baru untuk semua titik yang akan disisipkan (k) pada setiap pasangan sisi.
4. Membuat kolom *subtour* $(i, k)-(k, j)$, dengan i adalah titik asal, j adalah titik tujuan, dan k adalah titik yang belum dilewati serta titik yang akan disisipkan.
5. Membuat kolom nilai *subtour* setelah dilakukan penyisipan dengan rumus $C_{ik} + C_{kj} + C_{ij}$ lalu pilih nilai terkecil untuk mendapatkan *subtour* baru,
6. Setelah memdapat *subtour* baru, lakukan langkah dua hingga langkah lima sampai semua titik masuk ke dalam *subtour* (Pohan dkk., 2023).

Beberapa penelitian menunjukkan efektivitas metode ini. Pohan dkk. (2023) menerapkan *Cheapest Insertion Heuristic* pada sistem informasi geografis untuk menentukan rute wisata dan memperoleh hasil yang efisien. Selanjutnya, penelitian oleh Dinata dkk. (2025) juga menggunakan *Cheapest Insertion Heuristic* untuk menentukan lintasan wisata terpendek di Kota Bandar Lampung. Dalam penelitian tersebut, metode *Cheapest Insertion Heuristic* dikombinasikan dengan algoritma Modifikasi Sollin untuk memperoleh rute yang efisien, di mana proses penyisipan titik dilakukan berdasarkan biaya tambahan terkecil hingga seluruh lokasi wisata terhubung secara optimal. Adapun contoh penerapan langkah dari metode *Cheapest*

Insertion Heuristic yaitu misal terdapat 5 minimarket yang harus dikunjungi dengan data waktu tempuh satuan menit antar minimarket yang ada pada Tabel 2.2 dan implementasi langkah *Cheapest Insertion Heuristic* pada Tabel 2.3.

Tabel 2.2. Waktu tempuh antar 5 minimarket pada *Cheapest Insertion Heuristic*

Minimarket	1	2	3	4	5
1	0	4	7	9	10
2	4	0	6	5	8
3	7	6	0	3	9
4	9	5	3	0	2
5	10	8	9	2	0

Tabel 2.3. Implementasi langkah metode *Cheapest Insertion Heuristic*

Sisi	Titik sisipan	Subtour $(i, k)(k, j)$	Nilai subtour $C_{ik} + C_{kj} + C_{ij}$	Subtour dipilih
<i>Subtour awal: D–E–D</i>				
(D,E)	A	(D,A)–(A,E)	$(9+10-2=17)$	
(D,E)	B	(D,B)–(B,E)	$(5+8-2=11)$	
(D,E)	C	(D,C)–(C,E)	$(3+9-2=10)$	dipilih
<i>Subtour baru: D–C–E–D</i>				
(D,C)	A	(D,A)–(A,C)	$(9+7-3=13)$	
(D,C)	B	(D,B)–(B,C)	$(5+6-3=8)$	
(C,E)	A	(C,A)–(A,E)	$(7+10-9=8)$	
(C,E)	B	(C,B)–(B,E)	$(6+8-9=5)$	dipilih
(E,D)	A	(E,A)–(A,D)	$(10+9-2=17)$	
(E,D)	B	(E,B)–(B,D)	$(8+5-2=11)$	
<i>Subtour baru: D–C–B–E–D</i>				
(D,C)	A	(D,A)–(A,C)	$(9+7-3=13)$	
(C,B)	A	(C,A)–(A,B)	$(7+4-3=8)$	dipilih
(B,E)	A	(B,A)–(A,E)	$(4+10-3=11)$	
(5,4)	1	(5,1)–(1,4)	$(10+9-3=16)$	
Subtour akhir: D–C–A–B–E–D				

Proses implementasi metode *Cheapest Insertion Heuristic* dilakukan secara bertahap untuk menentukan lintasan atau *subtour* dengan total waktu minimum. Berdasarkan Tabel 2.3, di dapat *subtour* akhir yaitu D–C–A–B–E–D dengan total waktu tempuh 24 menit untuk melintasi semua titik lalu kembali ke titik awal.

2.5 Python

Python merupakan bahasa pemrograman tingkat tinggi yang dikembangkan untuk memudahkan proses penulisan dan pembacaan kode. Bahasa ini bersifat terbuka (*open-source*) dan mendukung pemrograman lintas platform sehingga dapat dijalankan di berbagai sistem operasi seperti Windows, macOS, dan VSCode. Python dikenal memiliki struktur sintaks yang sederhana, menjadikannya mudah dipelajari oleh pemula namun tetap kuat untuk pengembangan aplikasi berskala besar. Selain itu, Python dilengkapi dengan pustaka standar yang luas serta ekosistem paket tambahan yang memungkinkan penerapan di berbagai bidang seperti analisis data, kecerdasan buatan, pengembangan web, dan komputasi ilmiah.

Python juga dijelaskan sebagai bahasa pemrograman utama yang menjadi dasar pengembangan pustaka *pvlb*. Bahasa ini dipilih karena kemampuannya dalam mengolah data secara efisien serta dukungannya terhadap berbagai pustaka ilmiah seperti NumPy dan Pandas. Python memberikan fleksibilitas bagi peneliti untuk melakukan simulasi dan analisis sistem energi surya dengan tingkat presisi tinggi. Melalui sifatnya yang terbuka dan komunitas yang aktif, Python memudahkan pengembangan perangkat lunak ilmiah yang dapat terus diperbarui dan disesuaikan dengan kebutuhan penelitian di bidang energi terbarukan (Anderson dkk., 2023).

2.6 Google Maps

Google Maps merupakan layanan pemetaan digital berbasis web yang dikembangkan oleh *Google* untuk menampilkan informasi geografis secara interaktif. Platform ini menyediakan berbagai jenis tampilan seperti peta jalan, citra satelit, dan mode navigasi yang dapat diakses oleh pengguna di seluruh dunia. Melalui sistem berbasis GPS dan data spasial global, *Google Maps* memungkinkan pengguna untuk mencari lokasi, menentukan rute perjalanan, serta memperoleh estimasi waktu tempuh secara real time. Selain digunakan untuk keperluan navigasi, *Google Maps* juga menyediakan fitur tambahan seperti penandaan lokasi (*marker*), dan integrasi data dari pengguna untuk memperkaya informasi di peta (Yousif & Ibrahim, 2023).

Google Maps dirancang sebagai sistem yang mampu memproses dan menampilkan data geografis dalam skala besar secara efisien. Platform ini memanfaatkan proses algoritma rute serta model pembelajaran mesin untuk meningkatkan akurasi informasi yang diberikan kepada pengguna. Keunggulan utama *Google Maps*

terletak pada kemampuannya menggabungkan data spasial, kondisi lalu lintas, serta perilaku pengguna untuk menghasilkan informasi navigasi yang relevan dan aktual. Dengan dukungan teknologi canggih tersebut, *Google Maps* tidak hanya berfungsi sebagai alat pemetaan digital, tetapi juga sebagai sistem informasi geografis yang terus berkembang dalam memberikan layanan pemetaan dan navigasi global (Derrow-Pinion dkk., 2021).

2.7 Google Earth

Google Earth merupakan platform *globe virtual* yang menampilkan permukaan bumi secara tiga dimensi dengan memanfaatkan citra satelit, foto udara, serta data sistem informasi geografis (SIG). Aplikasi ini memungkinkan pengguna untuk menelusuri wilayah secara interaktif, melakukan pengamatan terhadap perubahan spasial, serta menampilkan informasi geografis dengan cara yang mudah dipahami. Dalam berbagai bidang, *Google Earth* banyak digunakan untuk keperluan pendidikan, komunikasi hasil penelitian, dan visualisasi data spasial karena tampilannya yang intuitif serta dapat diakses oleh masyarakat umum. Berbeda dengan *Google Earth Engine* yang berfokus pada analisis data spasial berskala besar melalui komputasi awan, *Google Earth* lebih berfungsi sebagai sarana eksplorasi dan penyajian informasi geografis (Mustaqim, 2021).

BAB III

METODE PENELITIAN

3.1 Waktu dan Tempat Penelitian

Penelitian ini dilakukan pada tahun ajaran 2025/2026 di Jurusan Matematika Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Lampung yang beralamatkan di Jalan Prof. Dr. Ir. Soemantri Brojonegoro, Gedong Meneng, Kecamatan Rajabasa, Kota Bandar Lampung, Lampung.

3.2 Data Penelitian

Penelitian ini menggunakan data waktu tempuh antar lokasi candi di Yogyakarta sebanyak 18 titik candi. Pengambilan data ini dilakukan pada 19 Oktober 2025 pukul 10.35-12.22 WIB menggunakan bantuan *Google Maps* untuk memperoleh data waktu tempuh tersebut.

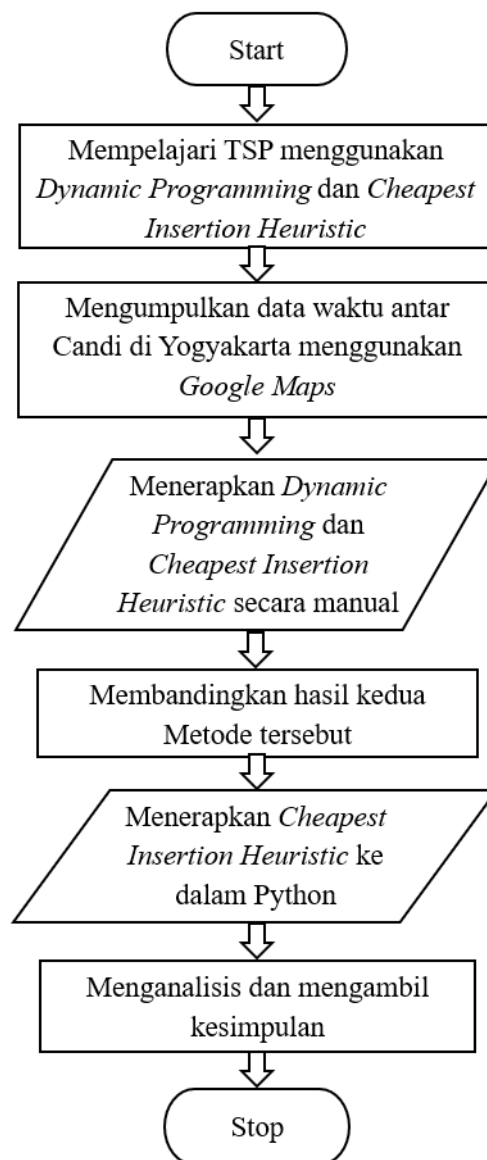
3.3 Tahapan Penelitian

Penelitian ini melalui beberapa tahapan yang akan disajikan sebagai berikut.

1. Mempelajari topik penelitian, tujuan, manfaat, serta mengumpulkan pustaka yang diperoleh dari berbagai sumber mengenai permasalahan *Travelling Salesman Problem* dan metode *Dynamic Programming* serta *Cheapest Insertion Heuristic*.
2. Mengumpulkan data waktu tempuh antar lokasi candi yang diperoleh dengan memanfaatkan *Google Maps*.
3. Melakukan penyelesaian masalah *Travelling Salesman Problem* dengan menggunakan *Dynamic Programming* dan *Cheapest Insertion Heuristic* untuk menentukan *tour* terpendek lokasi antar candi di Yogyakarta.

4. Melakukan perbandingan tingkat keefisienan dari metode tersebut berdasarkan total waktu tempuh yang didapat.
5. Menerapkan *Cheapest Insertion Heuristic* ke dalam Python.
6. Melakukan analisis hasil penelitian dan menarik kesimpulan berdasarkan tingkat keefisienan dari metode *Dynamic Programming* dan *Cheapest Insertion Heuristic* secara komprehensif, sebagai dasar rekomendasi dan evaluasi penelitian.

Gambar 3.1 menunjukkan diagram alir penelitian.



Gambar 3.1. Diagram alir penelitian.

BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil dari perhitungan dengan kedua metode di dapat bahwa metode *Cheapest Insertion Heuristic* manual menghasilkan lintasan A-R-Q-P-O-N-J-K-L-M-I-G-F-H-D-E-C-B-A dengan total waktu tempuh 141 menit, lalu metode *Cheapest Insertion Heuristic* dengan Python menghasilkan lintasan A-R-Q-P-N-O-J-K-L-M-I-G-F-H-D-E-C-B-A dengan total waktu tempuh 156 menit. Sedangkan metode *Dynamic Programming* dengan perhitungan manual berbasis *stage* menghasilkan lintasan P-O-N-C-B-I-J-K-L-M-G-F-H-E-D-A-R-Q-P dengan total waktu tempuh 144 menit. Adapun hasil metode *Cheapest Insertion Heuristic* menggunakan Python dengan *subtour* awal A-C-A didapat waktu tempuh 140 menit. Dengan demikian, dapat disimpulkan bahwa metode *Cheapest Insertion Heuristic* menghasilkan solusi yang lebih optimal meskipun selisih total waktu tempuhnya relatif kecil. Perbedaan ini menghasilkan bahwa metode *heuristic* mampu menghasilkan solusi yang efisien atau hasil yang lebih optimal pada penyelesaian *Travelling Salesman Problem* untuk menentukan *tour* terpendek antar 18 lokasi candi di Yogyakarta dibandingkan pada metode eksak yaitu *Dynamic Programming*.

5.2 Saran

Pada penelitian selanjutnya disarankan menggunakan kombinasi metode *heuristic* dan metode eksak lainnya atau bisa kombinasikan juga dengan metode metaheuristik, selain dari metode *Cheapest Insertion Heuristic* dan metode *Dynamic Programming* masih banyak metode *heuristic* dan eksak lainnya.

DAFTAR PUSTAKA

- Anderson, K. S., Hansen, C. W., Holmgren, W. F., Jensen, A. R., Mikofski, M. A., & Driesse, A. 2023. Pplib Python: 2023 Project Update. *Journal of Open Source Software*.
- Ardiansyah, M. F., & Wulandari, I. A. S. 2024. Penentuan dalam Pemilihan Ekspedisi Menggunakan Metode Analytic Processes Network dan Dynamic Programming. *Jurnal Teknologi dan Sistem Informasi Bisnis*, 6(2), 347-356.
- Buhaerah, Busrah, Z., Sanjaya, H. 2020. *Teori Graf dan Aplikasinya*. Living Spiritual Quotient (LSQ), Makassar.
- Christofides, N. 2022. Worst-Case Analysis of a New Heuristic for the Travelling Salesman Problem. *Operations Research Forum*, 3(1), 1-4.
- Deo, N. 1974. *Teori graf dengan Aplikasi pada Bidang Teknik dan Ilmu Komputer*. Courier Dover Publications, New York.
- Derrow-Pinion, A., She, J., Wong, D., Lange, O., Hester, T., Perez, L., Nunkesser, M., Lee, S., Guo, X., Wiltshire, B., Battaglia, P. W., Gupta, V., Li, A., Xu, Z., Sanchez-Gonzalez, A., Li, Y., & Velickovic, P. 2021. ETA Prediction with Graph Neural Networks in Google Maps. *International Conference on Information and Knowledge Management, Proceedings*, 3767-3776.
- Dinata, A. R., Wamiliana, W., Ansori, M., Fitriani, F., & Notiragayu, N. 2025. Determining the Shortest Tour Location of Tourist Attractions in Bandar Lampung Using Cheapest Insertion Heuristic (CIH) and Modified Sollin Algorithm. *Jurnal Pepadun*, 6(1), 92-102.
- Gharehchopogh, F. S., & Abdollahzadeh, B. 2022. An Efficient Harris Hawk Optimization Algorithm for Solving the Travelling Salesman Problem. *Cluster Computing*, 25(3), 1981-2005.
- Gharehchopogh, F. S., Abdollahzadeh, B., & Arasteh, B. 2023. An Improved Farmland Fertility Algorithm with Hyper-Heuristic Approach for Solving

- Travelling Salesman Problem. *CMES - Computer Modeling in Engineering and Sciences*, 135(3), 1981.
- Hadi, N. W., Nurfabella, R., Wamiliana, & Mustika, M. 2025. Comparative Analysis of CIH and Christofides Algorithms for Optimal Tourist Route Planning in West Java. *Integra: Journal of Integrated Mathematics and Computer Science*, 2(2), 56–62.
- Hanifah, H., Wijayanti, D. E., Thobirin, A., Prasetyo, P. W. 2020. Menentukan Rute Kendaran Pengangkut Sampah Kota Yogyakarta dengan Algoritma Cheapest Insertion Heuristic Modifikasi Route Construction. *Jurnal Fourier*, 9(2), 85–95.
- Karim, U. A., & Mohammad, G. 2024. Analisis Perencanaan Rute Pengiriman Produk Menggunakan Metode Dynamic Programming: Studi Kasus di Pratesthi Batik, Ecoprint & Craft. *Lentera: Multidisciplinary Studies*, 3(1), 538–546.
- Malinovskiy, P. 2025. Synergistic Integration of Auction-Based Game Theory and TSP for Logistics Efficiency in 2025: A Chinese Case Study. *Preprints. org*, 202503.0005.v1.
- Min, Y., Bai, Y., & Gomes, C. P. 2023. Unsupervised Learning for Solving the Travelling Salesman Problem. *Advances in Neural Information Processing Systems*, 36, 47264-47278.
- Mustaqim, R. A. 2021. Penggunaan Google Earth Sebagai Calibrator Arah Kiblat. *Jurnal Ilmu Hukum, Perundang-undangan, dan Pranata Sosial*, 6(2), 194-216
- Pohan, S. H., Suendri, S., & Andriana, S. D. 2023. Metode Cheapest Insertion Heuristic pada Sistem Informasi Geografis Tempat Wisata di Kabupaten Deli Serdang Berbasis Android. *Journal of Islamic Science and Technology (JISTech)*, 8(2), 81-92.
- Salii, Y. V., & Sheka, A. S. 2021. Improving Dynamic Programming for Travelling salesman with Precedence Constraints: Parallel Morin–Marsten Bounding. *Optimization Methods and Software*, 36(6), 1128–1154.
- Simbolon, H. M., Nasution, P. K., Mardiningsih, M., & Zahedi, Z. 2024. Penerapan Metode Dynamic Programming dan Fuzzy Linear Programming dalam Mengoptimasi Keuntungan serta Jumlah Produksi Padi. *Journal of Mathematics, Computations and Statistics*, 7(2), 243–250.

- Ugonna, A. J., Nkechi, A. M., & Cynthia, O. U. 2024. Travel Salesman Problem Using Dynamic Programming. *Asian Journal of Probability and Statistics*, 26(6), 63–72.
- Wahyono, A. T., Novianto, D. J., Nugroho, T. A., & Agusti, F. 2024. Optimalisasi Rute Perjalanan Menuju Kampus Universitas Duta Bangsa Surakarta dengan Metode Dynamic Programming. *Journal Science Innovation and Technology (SINTECH)*, 4(2), 14–19.
- Wibawa, C. 2022. Optimasi Rute Wisata di Yogyakarta Menggunakan Metode Travelling Salesman Person dan Algoritma Brute Force. *Jurnal Teknik dan Science*, 1(3), 59–65.
- Yousif, A. N., & Ibrahim, H. M. 2023. Online Destinations Map using Google Maps API Based on the Private Database. *International Journal of Information Technology and Computer Engineering*, 3, 35–39.
- Zhang, L., Marzuki, A., & Liao, Z. 2023. The Coordination Pattern of Tourism Efficiency and Development Level in Guangdong Province Under High-quality Development. *Humanities and Social Sciences Communications*, 10(1), 1–10.
- Zhang, Z., Zhang, Z., Wang, X., & Zhu, W. 2022. Learning to Solve Travelling Salesman Problem with Hardness-Adaptive Curriculum. *Proceedings of the 36th AAAI Conference on Artificial Intelligence*, 36, 9136–9144.