

IMPLEMENTASI ALGORITMA BELLMAN-FORD UNTUK OPTIMASI RUTE PENGENDARA DALAM MENCARI SPBU PERTAMINA DI KOTA KUPANG

M M A Rani Sani¹, D L Bethseba Baun², I Oktaviana Nunes³, B J A J Ajilo Pa⁴,
G Fredericus Tanusi⁵, M Ramadhan Putra⁶, H Alyano Amuntoda⁷, E R Suna Nahak⁸,
J Filipo Seran⁹, P Remby Lete¹⁰, D Maubara¹¹, Triyanto¹²

^{1,2,3,4,5,6,7,8,9,10,11,12}Program Studi Ilmu Komputer, Fakultas Sains dan Teknik,
Universitas Nusa Cendana, Indonesia

Email: ¹mchllangely@gmail.com, ²diandrabaun@gmail.com, ³annaaanunes17@gmail.com,
⁴Bernardpa2104@gmail.com, ⁵igortanusi279@gmail.com, ⁶muhammadramadan383@gmail.com,
⁷harisamuntoda@gmail.com, ⁸rikasuna26@gmail.com, ⁹iposeran367@gmail.com,
¹⁰dokterpatrisius@gmail.com, ¹¹maubaradaniel18@gmail.com, ¹²triyanto160803@gmail.com

ABSTRAK

Penelitian ini bertujuan untuk mengoptimalkan rute pengendara dalam menemukan Stasiun Pengisian Bahan Bakar Umum (SPBU) Pertamina terdekat di Kota Kupang menggunakan algoritma Bellman-Ford. Masalah yang dihadapi pengendara dalam menentukan lokasi SPBU terdekat sering kali disebabkan oleh keterbatasan informasi mengenai rute tercepat, terutama di area yang tidak familiar. Untuk mengatasi hal ini, algoritma Bellman-Ford dipilih karena kemampuannya menghitung jalur terpendek pada graf berbobot, termasuk yang memiliki bobot negatif. Penelitian ini memanfaatkan data lokasi SPBU yang diperoleh melalui Google Maps API serta data jaringan jalan dari OpenStreetMap yang diolah menggunakan pustaka osmnx. Jaringan jalan dimodelkan menjadi graf berbobot, di mana simpul (node) mewakili lokasi persimpangan atau SPBU, sedangkan sisi (edge) mewakili segmen jalan dengan bobot berupa jarak atau waktu tempuh. Hasil perhitungan algoritma Bellman-Ford divisualisasikan melalui peta interaktif menggunakan pustaka folium, yang menampilkan rute optimal dari titik awal pengendara ke SPBU terdekat dengan garis merah dan penanda lokasi. Hasil implementasi menunjukkan bahwa algoritma Bellman-Ford dapat menentukan rute terpendek secara efisien. SPBU "Pertamina Pulau Indah" tercatat sebagai yang terdekat dari titik awal pengendara dengan jarak 3,68 km. Validasi hasil menunjukkan bahwa perhitungan algoritma sesuai dengan rute faktual yang diperoleh melalui aplikasi peta, sehingga algoritma ini relevan untuk digunakan dalam sistem navigasi dunia nyata. Penelitian ini memberikan kontribusi penting dalam meningkatkan kenyamanan perjalanan pengendara di wilayah perkotaan, sekaligus membuka peluang untuk pengembangan lebih lanjut dalam sistem navigasi berbasis algoritma graf.

Kata Kunci: Algoritma Bellman-Ford, optimasi rute, SPBU, sistem informasi geografis, navigasi.

ABSTRACT

This study aims to optimize driver routes in locating the nearest Pertamina gas station (SPBU) in Kupang City using the Bellman-Ford algorithm. Drivers often face challenges in identifying the nearest SPBU due to limited information about the fastest route, especially in unfamiliar areas. To address this issue, the Bellman-Ford algorithm was chosen for its ability to calculate the shortest path on weighted graphs, including those with negative weights. The study utilized SPBU location data obtained from the Google Maps API and road network data from OpenStreetMap processed using the osmnx library. The road network was modeled as a weighted graph, where nodes represent intersections or SPBU locations, and edges represent road segments with weights based on distance or travel time. The results of the Bellman-Ford algorithm were visualized through an interactive map using the folium library, displaying the optimal route from the driver's starting point to the nearest SPBU with a red line and location markers. The implementation results showed that the Bellman-Ford algorithm efficiently determined the shortest route. "Pertamina Pulau Indah" was identified as the closest SPBU to the starting point, with a distance of 3.68 km. Validation confirmed that the algorithm's calculations aligned with factual routes obtained through map applications, proving its relevance for real-world navigation systems. This research makes a significant contribution to improving driver convenience in urban areas and opens opportunities for further development in graph-based navigation systems.

Keywords: Bellman-Ford algorithm, route optimization, SPBU, geographic information systems, navigation.

1. PENDAHULUAN

Latar Belakang

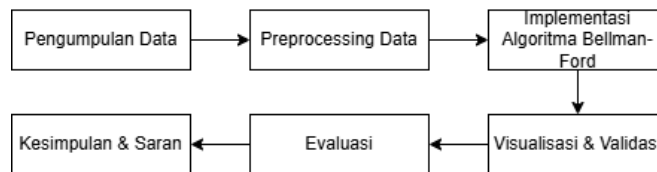
Stasiun Pengisian Bahan Bakar Umum (SPBU) memegang peran penting dalam memenuhi kebutuhan bahan bakar kendaraan di Kota Kupang. Namun, banyak pengendara yang kesulitan dalam menemukan lokasi SPBU terdekat, terutama di area yang tidak familiar atau daerah yang tidak dilengkapi dengan tanda arah yang jelas. Saat ini, informasi mengenai lokasi SPBU dan jalur tercepat untuk mencapainya masih sangat terbatas, sehingga diperlukan solusi yang dapat membantu pengendara untuk menemukan SPBU terdekat dengan lebih cepat dan memilih rute yang paling efisien. Untuk itu, diperlukan algoritma pencarian rute yang efektif untuk menentukan jalur terpendek dari titik awal menuju tujuan. Dalam penelitian ini, algoritma Bellman-Ford dipilih karena kemampuannya untuk menghitung jalur terpendek pada jaringan jalan yang memiliki struktur yang lebih kompleks. Algoritma Bellman-Ford diharapkan dapat diintegrasikan dalam sistem informasi geografis untuk membantu masyarakat menentukan rute tercepat menuju berbagai tujuan yang ingin dicapai [1].

Dalam pencarian jalur terpendek, terdapat berbagai algoritma yang dapat digunakan selain algoritma Bellman-Ford. Salah satunya adalah algoritma Dijkstra, yang merupakan bentuk algoritma greedy untuk menyelesaikan masalah jarak terpendek pada graf dengan bobot sisi non-negatif [2]. Algoritma ini banyak digunakan karena efisien untuk graf berbobot positif. Namun, ketika menghadapi graf dengan bobot sisi yang beragam, algoritma Bellman-Ford lebih fleksibel dalam menyelesaikan masalah tersebut. Penelitian ini dapat memetakan lokasi SPBU Pertamina di Kota Kupang dan memberikan petunjuk rute optimal menggunakan algoritma Bellman-Ford. Data jaringan jalan yang digunakan diperoleh melalui pustaka osmnx, yang memungkinkan pemrosesan data jalan dari OpenStreetMap. Jaringan jalan ini kemudian diubah menjadi graf, dengan node yang mewakili persimpangan jalan dan edge yang mewakili segmen jalan. Selanjutnya, algoritma Bellman-Ford diterapkan untuk menghitung jalur terpendek dari titik awal (lokasi pengguna) ke tujuan (SPBU). Hasilnya kemudian divisualisasikan dalam peta interaktif menggunakan pustaka folium, yang menampilkan rute terpendek dalam bentuk garis merah, beserta penanda untuk lokasi SPBU dan titik awal. Dengan adanya penelitian ini, pengguna akan lebih mudah menemukan SPBU terdekat dan memilih jalur yang paling efisien untuk mencapainya.

Penelitian sebelumnya yang dilakukan oleh [3] berhasil menerapkan algoritma Bellman-Ford pada aplikasi pencarian indekos berbasis Android di Kecamatan Gading Cempaka. Aplikasi tersebut mampu menyediakan informasi kos secara lengkap sekaligus menentukan rute terpendek dari Universitas Muhammadiyah ke kos-kosan yang terdaftar. Penelitian berikutnya yang dilakukan [4] melalui penerapan algoritma Bellman-Ford berhasil menunjukkan bahwa rute terpendek tidak selalu menjadi yang tercepat. Hasil penelitian menunjukkan bahwa meskipun 43% dari rute pertama memiliki jarak yang lebih panjang, 57% dari rute tersebut justru memiliki waktu tempuh yang lebih singkat dibandingkan rute lainnya. Penelitian [5] yang dilakukan oleh Fitriani et al. (2022) mengaplikasikan algoritma Bellman-Ford untuk menentukan rute terpendek dalam konteks pariwisata di Lampung Timur. Dalam studi ini, mereka menerapkan algoritma untuk mencari jalur terbaik yang menghubungkan berbagai destinasi wisata, dengan mempertimbangkan faktor-faktor seperti jarak dan waktu tempuh. Hasil penelitian menunjukkan bahwa meskipun algoritma Bellman-Ford sering kali digunakan untuk menemukan rute terpendek berdasarkan jarak, algoritma ini juga dapat mengoptimalkan waktu tempuh, memberikan solusi yang lebih efisien dalam konteks perencanaan perjalanan wisata. Hal ini membuktikan bahwa algoritma Bellman-Ford mampu memberikan rekomendasi rute perjalanan yang lebih menyeluruh, sehingga membantu wisatawan dalam membuat keputusan perjalanan yang lebih optimal.

Penelitian ini bertujuan untuk memetakan lokasi SPBU Pertamina di Kota Kupang dan memberikan petunjuk rute optimal kepada pengguna menggunakan algoritma Bellman-Ford. Selain itu, penelitian ini juga bermanfaat untuk membantu pengendara menemukan SPBU terdekat dengan cepat, mengatasi kesulitan dalam menemukan SPBU di area yang tidak familiar, dan menyediakan informasi mengenai lokasi SPBU serta jalur tercepat. Dengan demikian, penelitian ini memberikan kemudahan bagi pengguna dalam memilih rute yang paling efisien, sehingga meningkatkan kenyamanan dan efisiensi perjalanan.

2. MATERI DAN METODE



Gambar 1. Metodologi Penelitian

2.1 Pengumpulan Data

Tahap pengumpulan data merupakan langkah awal dalam penelitian ini untuk membangun model graf berbobot yang akan digunakan oleh algoritma Bellman-Ford. Pengumpulan data dilakukan melalui dua sumber utama, yaitu data lokasi SPBU Pertamina di Kota Kupang dan data jaringan jalan di sekitar wilayah tersebut. Berikut adalah penjelasan rinci mengenai proses pengumpulan data:

1. Data Lokasi SPBU Pertamina

Lokasi SPBU Pertamina di Kota Kupang diambil menggunakan layanan Google Maps API, khususnya fitur Places API. Proses ini mencakup:

- Pencarian Lokasi: Dilakukan pencarian berdasarkan kategori "SPBU Pertamina" dengan radius tertentu di sekitar wilayah Kota Kupang.
- Ekstraksi Data: Data yang diperoleh dari hasil pencarian meliputi nama SPBU, koordinat geografis (latitude dan longitude), serta informasi tambahan, seperti alamat dan rating, jika tersedia.
- Hasil Data: Data lokasi ini akan digunakan sebagai node dalam graf, mewakili titik tujuan yang akan dicapai oleh pengendara.

2. Data Jaringan Jalan

Untuk membangun graf berbobot, diperlukan informasi mengenai jarak atau waktu tempuh antar lokasi (titik awal dan SPBU). Data ini diambil menggunakan Google Maps Directions API dengan langkah-langkah berikut:

- Pemetaan Rute Antar Node: Dilakukan perhitungan jarak dan waktu tempuh antara semua pasangan titik (node) menggunakan parameter "driving" untuk memastikan rute mengikuti jaringan jalan yang sesuai bagi kendaraan bermotor.
- Bobot Edge: Bobot pada setiap sisi graf dihitung berdasarkan dua metrik utama yaitu dari jarak (dalam kilometer), yang relevan untuk menentukan rute terpendek secara fisik, dan dari waktu tempuh (dalam menit), yang relevan jika optimasi mempertimbangkan kecepatan akses.
- Format Data: Data hasil pemetaan disimpan dalam bentuk matriks ketetanggaan (adjacency matrix), di mana elemen matriks menunjukkan bobot antara dua node.

3. Penentuan Titik Awal

Lokasi titik awal (start point) ditentukan berdasarkan input pengguna, yaitu koordinat geografis yang diperoleh melalui perangkat GPS. Titik awal ini digunakan sebagai node sumber dalam algoritma Bellman-Ford untuk menghitung rute terpendek menuju SPBU Pertamina terdekat.

2.2 Preprocessing Data

Tahap preprocessing data dilakukan untuk memastikan bahwa data yang diperoleh dari pengumpulan data siap digunakan dalam implementasi algoritma Bellman-Ford. Proses ini melibatkan pengolahan

dan representasi data menjadi graf berbobot yang dapat digunakan untuk mencari rute terpendek. Berikut adalah langkah-langkah preprocessing data yang dilakukan:

1. Pemetaan Node dan Graf

Node dalam graf merepresentasikan titik-titik lokasi, yaitu:

- Titik awal (lokasi pengendara yang ditentukan melalui koordinat GPS).
- Titik-titik tujuan (lokasi SPBU Pertamina yang diperoleh dari hasil pengumpulan data). Setiap lokasi diberikan indeks atau ID unik untuk memudahkan pemrosesan dalam algoritma.

2. Membangun Graf Berbobot

Graf berbobot dibangun menggunakan data jarak dan waktu tempuh yang diperoleh dari Google Maps Directions API.

3. Normalisasi Data Bobot

Untuk memastikan keakuratan dalam perhitungan rute terpendek, dilakukan normalisasi pada data bobot:

- Data jarak dan waktu tempuh diperiksa untuk memastikan tidak ada nilai yang tidak valid, seperti nol atau tak hingga (infinity) yang tidak sesuai.
- Jika suatu rute tidak tersedia antara dua node, bobot diberi nilai tak hingga (infinity) agar algoritma mengabaikan jalur tersebut.
- Pemilihan bobot jarak

4. Penentuan Titik Awal

- Koordinat geografis titik awal pengguna diperoleh melalui perangkat GPS atau input manual. Titik ini direpresentasikan sebagai node sumber (source node) dalam graf.
- Dilakukan verifikasi bahwa titik awal memiliki koneksi ke jaringan jalan terdekat, memastikan algoritma dapat memulai perhitungan dengan benar.

Hasil dari tahap preprocessing data adalah graf berbobot yang telah siap digunakan sebagai input pada algoritma Bellman-Ford. Graf ini merepresentasikan jaringan jalan di Kota Kupang secara akurat, dengan node dan edge yang saling terhubung serta bobot yang sesuai dengan jarak atau waktu tempuh antar lokasi. Proses ini juga memastikan bahwa data bersih, lengkap, dan bebas dari kesalahan atau ketidaksesuaian yang dapat memengaruhi hasil optimasi.

2.3 Algoritma Bellman- Ford

Algoritma Bellman-Ford dikembangkan oleh Richard Bellman dan Lester Ford, Jr. Algoritma ini memiliki banyak kesamaan dengan Algoritma Dijkstra, namun keunggulannya terletak pada kemampuannya menangani bobot negatif dalam pencarian jalur terpendek pada graf berbobot. Bellman-Ford merupakan penyempurnaan dari Algoritma Dijkstra, tetapi algoritma ini hanya menghasilkan solusi yang benar jika graf tidak memiliki siklus dengan bobot negatif yang dapat dicapai dari sumber tertentu. Dalam aplikasinya, seperti yang dijelaskan oleh Bawole dan Chernovita (2019), Algoritma Bellman-Ford efektif dalam menghitung jalur terpendek, bahkan pada graf dengan bobot negatif. Penelitian ini menunjukkan bagaimana algoritma ini dapat diterapkan untuk perencanaan rute dalam sistem logistik, di mana penghitungan rute dilakukan dengan mempertimbangkan kondisi graf yang dapat mencakup bobot sisi yang negatif, yang merupakan keunggulan utama dari algoritma ini. Oleh karena itu, Algoritma Bellman-Ford lebih fleksibel dan dapat digunakan dalam berbagai situasi yang melibatkan bobot negatif dalam jaringan jalan atau graf berbobot [6][7]. Secara umum, langkah-langkah Algoritma Bellman-Ford adalah sebagai berikut:

1. Tentukan simpul sumber (source vertex) dan buat daftar semua simpul (vertices) serta sisi (edges) dalam graf.
2. Tetapkan nilai awal jarak (distance) dari simpul sumber ke dirinya sendiri sebagai 0, sementara jarak ke simpul lainnya diinisialisasi sebagai tak hingga (infinite).
3. Lakukan iterasi terhadap semua simpul yang terhubung dengan simpul sumber menggunakan formula berikut:

U : simpul asal

V : simpul tujuan

UV : sisi yang menghubungkan simpul U dan V

Jika jarak ke V lebih besar dari jarak ke U ditambah bobot sisi UV , perbarui jarak ke V dengan nilai jarak ke U ditambah bobot sisi UV .

4. Ulangi proses ini hingga semua simpul telah diperiksa.

2.4 Visualisasi dan Validasi

Setelah algoritma Bellman-Ford diaplikasikan untuk mencari rute terpendek dari titik awal ke SPBU Pertamina terdekat, hasilnya divisualisasikan untuk mempermudah interpretasi dan dilakukan validasi guna memastikan keakuratan rute yang dihasilkan. Tahap ini terdiri atas dua bagian utama: visualisasi rute dan validasi hasil.

Visualisasi rute dilakukan untuk menampilkan jalur optimal pada peta digital, sehingga pengguna dapat melihat rute dari titik awal ke lokasi SPBU Pertamina tujuan. Langkah-langkah yang dilakukan adalah sebagai berikut:

Integrasi dengan Google Maps API

Hasil dari algoritma Bellman-Ford berupa urutan node yang membentuk rute terpendek divisualisasikan menggunakan layanan Google Maps API, khususnya Directions API dan Maps JavaScript API.

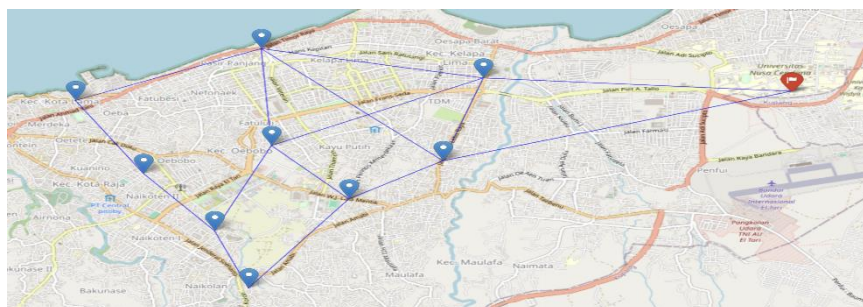
2.5 Evaluasi Kinerja

Waktu komputasi algoritma diukur untuk memastikan bahwa algoritma Bellman-Ford efisien dalam menangani graf dengan jumlah node dan edge yang sesuai dengan jaringan jalan di Kota Kupang. Hasil dari tahap visualisasi dan validasi ini memberikan gambaran yang jelas tentang efektivitas algoritma Bellman-Ford dalam menentukan rute terpendek. Selain itu, validasi memastikan bahwa algoritma dapat menghasilkan solusi yang akurat dan relevan dengan kondisi nyata, sehingga dapat diimplementasikan untuk membantu pengendara secara praktis. Sebagai contoh, penelitian yang dilakukan oleh Sari et al. (2024) menunjukkan bahwa Algoritma Bellman-Ford efektif dalam menentukan jalur terpendek antara Pekanbaru dan Istana Siak, meskipun algoritma ini lebih terkenal dalam menangani graf dengan bobot negatif. Mereka menemukan bahwa rute yang dihitung menggunakan Bellman-Ford dan Dijkstra menghasilkan jalur terpendek yang sama, yang menggambarkan keandalan algoritma dalam situasi dunia nyata[8].

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil dari implementasi algoritma Bellman-Ford dalam optimasi rute pengendara untuk mencari SPBU Pertamina di Kota Kupang bertujuan agar algoritma ini mampu menghitung lintasan terpendek secara akurat dari titik awal menuju setiap SPBU yang tersedia. Diharapkan dalam simulasi yang dilakukan, setiap simpul merepresentasikan lokasi SPBU dan titik awal pengendara, sementara bobot pada setiap edge mencerminkan jarak antar lokasi. Perhitungan dilakukan dengan menentukan panjang masing-masing jalan menuju SPBU terdekat. Parameter penting yang harus diperhatikan meliputi jenis kendaraan yang digunakan dan jarak jalur yang akan ditempuh. Proses ini direpresentasikan dalam bentuk graf, di mana jalan antara posisi awal pengendara dan SPBU digambarkan sebagai edge, sedangkan posisi awal pengendara dan SPBU sebagai vertex.

Berikut Skema Sistem dalam Algoritma Bellman-Ford pada Gambar 2:

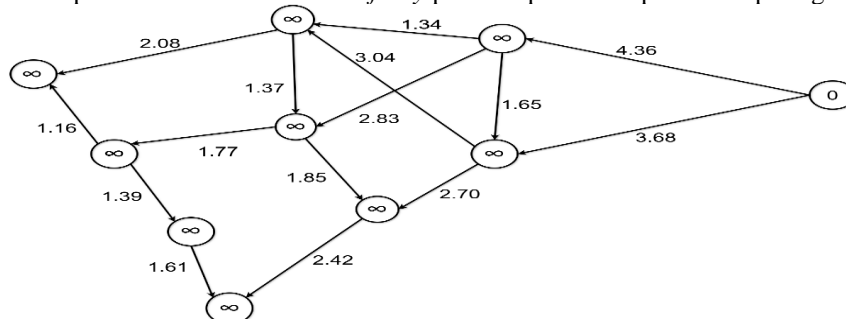


Gambar 2. Skema Sistem dalam Algoritma Bellman-ford

Skema sistem algoritma pada gambar 1 dibuat dengan mengambil posisi awal pendedara dalam hal ini di prodi ilmu komputer undana dan 9 pertamina di kota kupang berdasarkan maps beserta jarak antar vertex atau simpul. Dimana untuk mengubah graf menjadi berarah berdasarkan hasil analisis penulis terkait dengan arah rute yang optimal pada setiap node.

Visualisasi Algoritma Bellman Ford pada Graf

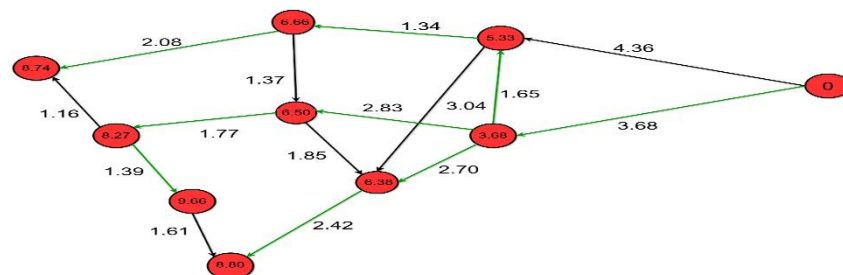
Notasi graf berarah yang menunjukkan hasil representasi pencarian jarak terpendek ke SPBU dengan pemberian bobot 0 pada titik awal dan bobot *infinity* pada simpul lain dapat dilihat pada gambar 2 .



Gambar 3. Awal Notasi Graf dan Inisialisasi Bobot Awal

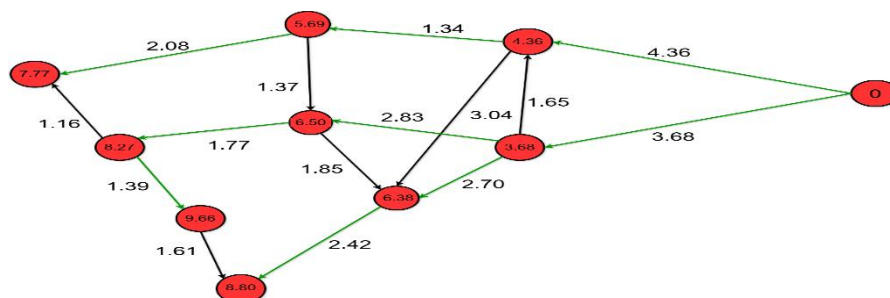
Berikut graf dalam menentukan jarak terpendek dari titik awal ke 9 titik pertamina.

Selanjutnya menampilkan hasil per iterasi dari algoritma Bellman-Ford, menunjukkan bagaimana jarak terpendek antara simpul diperbarui pada setiap langkah. Setiap iterasi memperlihatkan perubahan jarak dan menandai edge yang terpengaruh dengan warna hijau, menggambarkan proses pencarian jalur terpendek secara bertahap hingga hasil akhir.



Gambar 4. Visualisasi Graf Pada Iterasi 1

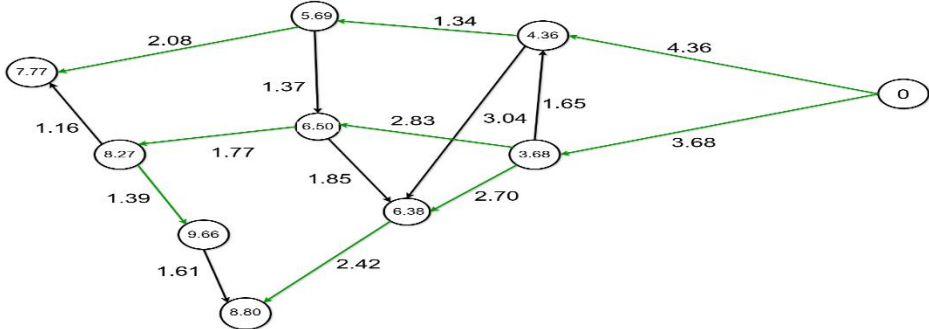
Sesuai dengan gambar 3, pada iterasi 1 simpul titik awal pendedara melakukan pencarian jarak terpendek pada setiap node SPBU dengan edge yang dilewati diberikan highlight hijau dan simpul diubah berwarna merah sehingga menghasilkan bobot pada setiap simpul SPBU antara lain Pertamina Pulau Indah 3.68, Pertamina TDM 5.33, Pertamina Oebufu 6.66, Pertamina Oepura 8.74, Pertamina Valentin 6.50, Pertamina Naikoten 8.27, Pertamina Oebobo 9.66, Pertamina Pasir Panjang 6.38 dan Pertamina Oeba 8.80. Semua node pada iterasi ini telah dilakukan pengecekan dan pemberian bobot minimal.



Gambar 5. Visualisasi Graf Pada Iterasi 2

Selanjutnya sesuai gambar 4, sama seperti iterasi sebelumnya pada iterasi 2 simpul titik awal pendedara melakukan pencarian jarak terpendek pada setiap node SPBU dengan edge yang dilewati diberikan

highlight hijau dan node berwarna merah. Pembaruan bobot terjadi pada Pertamina TDM juga pada Pertamina dibawahnya yang terhubung sehingga menghasilkan bobot pada simpul SPBU yang terhubung antara lain Pertamina TDM 4.36, Pertamina Oebufu 5.69 dan Pertamina Oepura 7.77. Sedangkan pada Pertamina lain yang tidak terhubung tidak terjadi pembaruan bobot dengan bobot yang sama yaitu Pertamina Pulau Indah 3.68, Pertamina Valentin 6.50, PertaminaNaikoten 8.27, Pertamina Oebobo 9.66, Pertamina Pasir Panjang 6.38 dan Pertamina Oeba 8.80. Semua node pada iterasi ini telah dilakukan pengecekan dan pemberian bobot minimal.



Gambar 6. Visualisasi Graf Pada Iterasi 3

Sesuai Gambar 5, pada iterasi 3 tidak ada perubahan lebih lanjut pada iterasi berikutnya sehingga iterasi diberhentikan, yang menunjukkan bahwa semua jalur terpendek telah ditemukan. Dimana tidak ditemukan bobot negatif karena pencarian jarak terpendek yang tidak mencapai iterasi sehingga algoritma dapat mengakhiri prosesnya dengan hasil yang optimal.

Hasil Pencarian Pertamina dengan Jarak Terpendek dari Titik Awal Pengendara

Tabel 1 menyajikan hasil perhitungan jarak terpendek yang diperoleh melalui implementasi algoritma Bellman-Ford untuk mencari rute optimal dari titik awal pengendara menuju berbagai SPBU Pertamina di Kota Kupang. Setiap baris dalam tabel menunjukkan pasangan titik sumber dan tujuan, beserta jarak yang dihitung dalam kilometer dan lintasan yang dilalui untuk mencapai tujuan. Tabel ini memberikan informasi yang jelas mengenai urutan langkah-langkah yang dilalui pengendara dalam mencapai SPBU, serta efisiensi rute berdasarkan jarak terpendek yang dihitung selama proses algoritma.

Tabel 1. Hasil Pencarian Pertamina Terpendek dari titik awal

No	Vertex Sumber	Tujuan	Jarak (KM)	Lintasan
1	Titik Awal Pengendara	Titik Awal Pengendara	0	Simpul Awal
2		Pertamina Pulau Indah	3.67668	Titik Awal Pengendara - Pertamina Pulau Indah
3		Pertamina TDM	4.3564	Titik Awal Pengendara - Pertamina TDM
4		Pertamina Oebufu	5.69283	Titik Awal Pengendara - Pertamina TDM - Pertamina Oebufu
5		Pertamina Pasir Panjang	6.37988	Titik Awal Pengendara - Pertamina Pulau Indah - Pertamina Pasir Panjang
6		Pertamina Valentin	6.50302	Titik Awal Pengendara - Pertamina Pulau Indah - Pertamina Valentin
7		Pertamina Oepura	7.77376	Titik Awal Pengendara - Pertamina Tdm - Pertamina Oebufu - Pertamina Oepura
8		Pertamina Naikoten	8.2713	Titik Awal Pengendara - Pertamina Pulau Indah - Pertamina Valentin - Pertamina Naikoten
9		Pertamina Oeba	8.79621	Pertamina Pulau Indah - Pertamina Pasir Panjang - Pertamina Oeba
10		Pertamina Oebobo	9.6605	Titik Awal Pengendara - Pertamina Pulau Indah - Pertamina Valentin - Pertamina Naikoten - Pertamina Oebobo

Hasil perhitungan jarak terpendek menggunakan algoritma Bellman-Ford menunjukkan jarak dari "Titik Awal Pengendara" ke berbagai SPBU Pertamina di Kota Kupang. SPBU "Pertamina pulau indah" tercatat sebagai yang terdekat dengan jarak 3.68 km, sementara SPBU lainnya memiliki jarak lebih jauh dengan lintasan yang lebih kompleks, melibatkan beberapa SPBU sebelum mencapai tujuan akhir.

Pengujian

Untuk memastikan bahwa aplikasi yang dibuat bekerja dengan baik dan memenuhi kebutuhan pengguna maka dilakukan pengujian menggunakan metode verifikasi rute tercepat.

Tabel 2. Verifikasi Rute Tercepat

No	Titik Awal	Tujuan	Jarak dari Aplikasi (KM)	Lintasan dari Aplikasi	Jarak dari Maps (KM)	Lintasan dari Maps	Perbedaan	Hasil Verifikasi
1	Titik Awal Pengendara	Titik Awal Pengendara	0	Simpul Awal	0	Simpul Awal	Tidak Ada	Sesuai
2	Titik Awal Pengendara	Pertamina Pulau Indah	3.67668	Titik Awal Pengendara → Pertamina Pulau Indah	3.7	Titik Awal Pengendara → Pertamina Pulau Indah	Minor	Sesuai
3	Titik Awal Pengendara	Pertamina TDM	4.3564	Titik Awal Pengendara → Pertamina Pulau Indah → Pertamina TDM	4.4	Titik Awal Pengendara → Pertamina Pulau Indah → Pertamina TDM	Minor	Sesuai
4	Titik Awal Pengendara	Pertamina Oebufu	5.69283	Titik Awal Pengendara → Pertamina TDM → Pertamina Oebufu	5.7	Titik Awal Pengendara → Pertamina TDM → Pertamina Oebufu	Tidak Ada	Sesuai
5	Titik Awal Pengendara	Pertamina Pasir Panjang	6.37988	Titik Awal Pengendara → Pertamina Pulau Indah → Pertamina Pasir Panjang	6.4	Titik Awal Pengendara → Pertamina Pulau Indah → Pertamina Pasir Panjang	Minor	Sesuai
6	Titik Awal Pengendara	Pertamina Valentin	6.50302	Titik Awal Pengendara → Pertamina Pulau Indah → Pertamina Valentin	6.5	Titik Awal Pengendara → Pertamina Pulau Indah → Pertamina Valentin	Tidak Ada	Sesuai
7	Titik Awal Pengendara	Pertamina Oepura	7.77376	Titik Awal Pengendara → Pertamina Oebufu →	7.8	Titik Awal Pengendara → Pertamina Oebufu →	Minor	Sesuai

				Pertamina Oepura		Pertamina Oepura		
8	Titik Awal Pengendara	Pertamina Naikoten	8.2713	Titik Awal Pengendara → Pertamina Pulau Indah → Pertamina Valentin → Pertamina Naikoten	8.3	Titik Awal Pengendara → Pertamina Pulau Indah → Pertamina Valentin → Pertamina Naikoten	Tidak Ada	Sesuai

4. KESIMPULAN DAN SARAN

Penelitian ini berhasil mengimplementasikan algoritma Bellman-Ford untuk optimasi rute pengendara dalam menemukan SPBU Pertamina terdekat di Kota Kupang. Dengan menggunakan data lokasi SPBU yang diperoleh dari Google Maps API serta jaringan jalan yang dimodelkan melalui pustaka osmnx, penelitian ini mampu membangun graf berbobot yang merepresentasikan koneksi antar lokasi dengan akurat. Hasil simulasi menunjukkan bahwa algoritma Bellman-Ford dapat menghitung rute terpendek dari titik awal pengendara ke SPBU dengan efisiensi tinggi, bahkan pada jaringan jalan yang kompleks. Visualisasi peta interaktif yang dihasilkan memudahkan pengguna dalam memahami jalur optimal yang ditandai dengan rute berwarna merah dan penanda lokasi SPBU. Penelitian ini juga menunjukkan bahwa hasil perhitungan algoritma konsisten dengan rute yang diperoleh dari sumber lain, seperti Google Maps, sehingga menegaskan validitas dan keandalannya untuk digunakan dalam aplikasi navigasi dunia nyata. Selain itu, penelitian ini mengidentifikasi "Pertamina Pulau Indah" sebagai SPBU terdekat dari titik awal dengan jarak 3,68 km. Simulasi iterasi algoritma menegaskan bahwa jalur terpendek tidak mengalami perubahan setelah iterasi ketiga, yang mengindikasikan algoritma mampu menemukan solusi optimal dalam waktu komputasi yang efisien. Dengan demikian, algoritma Bellman-Ford terbukti fleksibel dan efektif untuk menangani jaringan jalan dengan bobot yang bervariasi, termasuk untuk pengembangan sistem navigasi berbasis jarak terpendek. Secara keseluruhan, penelitian ini memberikan kontribusi nyata dalam membantu pengendara menemukan lokasi SPBU secara cepat dan efisien, yang pada akhirnya dapat meningkatkan kenyamanan serta efisiensi perjalanan di wilayah perkotaan. Keberhasilan ini menunjukkan potensi besar algoritma Bellman-Ford untuk diimplementasikan pada aplikasi navigasi lainnya, khususnya yang berfokus pada optimasi jalur dalam sistem informasi geografis.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] R. Pramudita and N. Safitri, "Algoritma Bellman-Ford Untuk Menentukan Jalur Tercepat Dalam Sistem Informasi Geografis," *PIKSEL Penelit. Ilmu Komput. Sist. Embed. Log.*, vol. 6, no. 2, pp. 105–114, 2018, doi: 10.33558/piksel.v6i2.1502.
- [2] A. Serdano, M. Zarlis, and D. Hartama, "Perbandingan Algoritma Dijkstra dan Bellman-Ford Dalam Pencarian Jarak Terpendek Pada SPBU," *Semin. Nas. Sains Teknol. Inf. SENSASI 2019* ISBN, pp. 259–264, 2019.
- [3] Y. Alfioza and E. Sahputra, "Penerapan Metode Algoritma Bellman-Ford Dalam Aplikasi Pencarian Indekos Di Kecamatan Gading Cempaka," *J. Innov. Informatics(Jii)*, vol. 1, pp. 142–151, 2022.
- [4] E. Sari, "Rekomendasi Pemilihan Rute Wisata Menggunakan Metode Bellman-Ford (Studi Kasus: Daerah Wisata Kabupaten Luwu Timur)," *Naskah Publ. Progr. Stud. Tek. ...*, vol. 1, no. 2, pp. 84–93, 2023.
- [5] R. Evita, P. Harahap, and I. Husein, "DESIMAL : JURNAL MATEMATIKA," vol. 7, no. 2, pp.

- 453–462, 2024, doi: 10.24042/djm.
- [6] D. K. Budiarsyah, “Algoritma djikstra, bellman-ford, dan floyd-warshall untuk mencari rute terpendek dari suatu graf,” *Vestn. St. Petersburg. Univ. - Math.*, vol. 10, p. 5, 2010, [Online]. Available: <https://informatika.stei.itb.ac.id/~rinaldi.munir/Matdis/2010-2011/Makalah2010/MakalahStrukdis2010-071.pdf>
- [7] D. J. Bawole and H. P. Chernovita, “Algoritma Bellman-Ford untuk Menentukan Jalur Terpendek dalam Survey Klaim Asuransi (Studi Kasus : PT. Asuransi Sinar Mas, Jakarta),” *INOBIS J. Inov. Bisnis dan Manaj. Indones.*, vol. 3, no. 1, pp. 41–51, 2019, doi: 10.31842/jurnal-inobis.v3i1.119.
- [8] Dhea Ayu Devi Mayang Sari, Granita, and Dinda Handayani, “Penerapan Algoritma Dijkstra dan Algoritma Bellman-Ford untuk Menentukan Rute Terpendek,” *JMT J. Mat. dan Terap.*, vol. 6, no. 1, pp. 35–41, 2024, doi: 10.21009/jmt.6.1.5.