



Penerapan Algoritma *Bellman-Ford* Untuk Optimisasi Pengendara Dalam Menentukan Rute Terpendek UMKM Di Kabupaten Padang Lawas

Putri Indah Julia Hasibuan^{1*}, Ali Ikhwan²,

Sains dan Teknologi, Sistem Informasi, Universitas Islam Negeri Sumatera Utara, Kota Medan, Indonesia

Email: ¹putriindahhasibuan0@gmail.com, ² ali_ikhwan@uinsu.ac.id

(* : coressponding author: putriindahhasibuan0@gmail.com)

Abstrak- Penelitian ini merancang sistem informasi geografis (SIG) berbasis web dengan algoritma *Bellman-Ford* untuk menentukan rute terpendek bagi Usaha Mikro, Kecil, dan Menengah (UMKM) di Kabupaten Padang Lawas. Permasalahan utama pada UMKM adalah keterbatasan dan kurangnya pemanfaatan teknologi informasi, kondisi ini menyebabkan masyarakat kesulitan menemukan lokasi strategis UMKM dan rute tercepat menuju tempat usaha, sehingga berdampak pada rendahnya daya saing dan efisiensi pemasaran. Untuk menjawab persoalan ini, sistem dikembangkan menggunakan model *Waterfall* dan diintegrasikan dengan teknologi *Leaflet JS* agar dapat diakses secara luas melalui web tanpa instalasi tambahan. Algoritma *Bellman-Ford* dipilih karena mampu menghitung jalur terpendek meskipun terdapat bobot negatif pada graf. Hasil pengujian menunjukkan bahwa rute optimal yang diperoleh sejauh 1,795 km, lebih efisien dibandingkan rute alternatif sejauh 2,563 km, sehingga memberikan penghematan jarak sekitar 30%. Sistem ini terbukti mampu memberikan rekomendasi rute yang cepat dan akurat, sekaligus menyajikan informasi lokasi UMKM secara interaktif. Kebaruan penelitian ini terletak pada integrasi *Bellman-Ford* dengan peta digital interaktif berbasis web khusus untuk promosi UMKM, yang sebelumnya belum banyak diterapkan pada konteks daerah. Tujuan dari penelitian ini diharapkan dapat meningkatkan efisiensi pemasaran, memperluas aksesibilitas, dan memperkuat daya saing UMKM di wilayah Padang Lawas. Dengan penelitian ini diharapkan bisa memberikan kontribusi positif yang nyata bagi masyarakat dalam menemukan UMKM dengan lebih cepat dan akurat.

Kata Kunci: Algoritma *Bellman-Ford*; Sistem Informasi Geografis; Rute Terpendek; Usaha Mikro, Kecil, dan Menengah; Web

Abstract- This study designs a web-based Geographic Information System (GIS) employing the *Bellman-Ford* algorithm to determine the shortest routes for Micro, Small, and Medium Enterprises (MSMEs) in Padang Lawas Regency. The main challenge faced by MSMEs lies in the limited utilization of information technology, which makes it difficult for the community to locate strategic MSME locations and identify the fastest routes to business sites. This situation negatively impacts competitiveness and marketing efficiency. To address this issue, the system was developed using the *Waterfall* model and integrated with *Leaflet JS* technology, enabling wide accessibility via the web without requiring additional installations. The *Bellman-Ford* algorithm was selected because it can compute the shortest paths even in graphs containing negative edge weights. The testing results indicate that the optimal route obtained measures 1.795 km, which is more efficient compared to the alternative route of 2.563 km, thus achieving a distance reduction of approximately 30%. The system effectively provides fast and accurate route recommendations while presenting MSME location information interactively. The novelty of this research lies in the integration of the *Bellman-Ford* algorithm with interactive web-based digital mapping specifically for MSME promotion, which has rarely been applied in regional contexts. The objective of this study is to enhance marketing efficiency, expand accessibility, and strengthen the competitiveness of MSMEs in Padang Lawas. Ultimately, this research is expected to deliver tangible positive contributions for the community in locating MSMEs more quickly and accurately.

Keywords: *Bellman-Ford* algorithm; Geographic Information Systems; Shortest Route; Micro, Small, and Medium Enterprises; Web

1. PENDAHULUAN

Transformasi digital sangat penting bagi bisnis kuliner dalam operasional, identifikasi peluang pasar, serta peningkatan hubungan pelanggan, sehingga analisis pola pembelian berbasis teknologi informasi pada UMKM menjadi krusial dalam keberlanjutan bisnis[1]. Sistem Informasi Geografis (SIG) merupakan sistem komputer untuk mengelola, menganalisis, serta menyebarkan informasi yang berkaitan dengan lokasi geografis dan data permukaan bumi [2]. SIG ini dapat membantu usaha mikro, kecil, dan menengah (UMKM) dengan memberikan informasi tentang lokasi UMKM, yang memudahkan masyarakat untuk menemukan lokasi bisnis dan informasi penting lainnya. Sistem ini dapat membantu UMKM dengan informasi tentang lokasi UMKM, yang memudahkan masyarakat untuk menemukan lokasi bisnis dan informasi penting lainnya [3].

Menurut data yang tersedia di Dinas Koperasi dan UKM, Perindustrian dan Perdagangan Kabupaten Padang Lawas, ada sekitar 30 UMKM dengan beragam usaha. Umumnya UMKM ini beroperasi di sektor makanan, minuman, dan kerajinan tangan. Modal pemasaran UMKM masih rendah karena pemasaran belum menggunakan teknologi untuk memperluas jangkauan pasar dan kurangnya keterampilan di bidang pemasaran. Permasalahan yang dihadapi di wilayah ini adalah masih banyak pedagang yang belum terfasilitasi melalui media promosi untuk meningkatkan potensi pasar. Selain itu, keterbatasan daya tarik lokasi usaha membuat para pelaku usaha kurang memiliki daya saing, sehingga menyulitkan pembeli dalam mencari lokasi usaha yang tepat serta strategi dengan kebutuhan mereka. Kondisi tersebut akhirnya menyebabkan masyarakat mengalami kesulitan dalam mengetahui keberadaan UMKM yang dicari.



Solusi untuk memecahkan masalah ini dengan menggunakan GIS dengan metode algoritma *Bellman-Ford* bisa memberikan solusi untuk menentukan rute terpendek untuk meningkatkan jarak, menurut penelitian [4] Algoritma *Bellman-Ford* adalah salah satu algoritma untuk memecahkan masalah lintasan terpendek yang ditemukan pada graf [5]. Ketika menemukan rute terpendek, akan lebih mudah untuk memahami rute mana yang harus diambil. Kelebihan dari proses penyelesaian *Bellman-Ford* dibandingkan dengan algoritma pencarian lainnya adalah dapat menghitung bobot negatif [6]. Studi eksperimental terbaru menunjukkan trade-off praktis antara *Bellman-Ford* dan *Dijkstra* terkait konsumsi energi dan perilaku memori [25]. Selain itu, penelitian mutakhir memperlihatkan bahwa *Bellman-Ford* masih relevan dalam konteks tertentu, misalnya untuk perencanaan jalur evakuasi multi-lantai yang lebih optimal dibandingkan *Dijkstra* [26].

Beberapa penelitian sebelumnya telah banyak mengkaji penerapan algoritma *Bellman-Ford* untuk pencarian rute terpendek pada berbagai konteks lokasi dan kebutuhan. Talenta dan Hermansyah (2023) [7] menyarankan untuk rute tercepat dan waktu perjalanan terpendek pada UMKM, sehingga pengguna aplikasi dapat menemukan lokasi MSME dengan tepat dan cepat. Selain itu, pengguna juga dapat melihat informasi lengkap tentang setiap MSME, seperti deskripsi bisnis, jam buka, dan informasi kontak. Viery dan Dodik et al. (2022) [8] menciptakan Sistem Informasi Geografis (SIG) yang membantu masyarakat Surabaya mencari bengkel motor terdekat dengan visualisasi peta yang interaktif. Penelitian Melliana et al. (2023) [4] mengaplikasikan algoritma yang sama untuk mengoptimalkan rute pengiriman barang oleh PT Tiki di Dumai, menghasilkan rute terpendek hingga 4,5 km. Sementara itu, Yogi dan Eka (2022) [9] membangun aplikasi pencarian indeks di Bengkulu untuk memudahkan mahasiswa dalam menentukan lokasi tempat tinggal dengan mempertimbangkan jarak terdekat. [10] mengembangkan aplikasi Android untuk pencarian apotek terdekat selama pandemi COVID-19 secara real-time menggunakan algoritma *Bellman-Ford* yang terintegrasi dengan teknologi cloud computing. Namun, sebagian besar penelitian tersebut masih bersifat spesifik pada domain tertentu, terbatas pada platform Android, atau tidak mengintegrasikan fitur peta interaktif berbasis web yang dapat diakses tanpa instalasi aplikasi tambahan. Berbeda dengan penelitian-penelitian tersebut, penelitian ini memanfaatkan algoritma *Bellman-Ford* yang diintegrasikan dengan teknologi *Leaflet JS* dalam sistem berbasis web. Sistem ini tidak hanya menampilkan rute terdekat secara interaktif, tetapi juga menyajikan fitur lokasi pengguna, daftar lokasi UMKM, dan penandaan titik-titik lokasi UMKM langsung pada peta digital, sehingga dapat diakses secara luas tanpa perlu instalasi aplikasi tambahan dan secara khusus mendukung promosi serta kemudahan akses terhadap UMKM.

Berdasarkan gap tersebut, penelitian ini menawarkan pendekatan baru dengan mengintegrasikan algoritma *Bellman-Ford* ke dalam SIG berbasis web menggunakan teknologi *Leaflet JS*. Sistem ini tidak hanya menghitung rute terpendek dengan efisiensi hingga 30%, tetapi juga menyajikan lokasi UMKM secara interaktif, lengkap dengan daftar usaha dan titik lokasi pada peta digital. Dengan demikian, penelitian ini berkontribusi pada peningkatan aksesibilitas UMKM di Padang Lawas sekaligus memberikan dukungan nyata terhadap digitalisasi promosi usaha lokal. Seiring dengan penelitian ini membahas permasalahan yang muncul di kantor Koperasi dan UMKM Kabupaten Padang Lawas terkait rute terpendek menuju UMKM, penelitian ini menggunakan teknologi *Leaflet JS* sebagai cara untuk mengimplementasikan peta dalam sistem web yang mengintegrasikan rute terdekat, fitur lokasi, dan daftar peta lokasi untuk UMKM. Oleh karena itu, penulis telah mengajukan penelitian yang berjudul "Penerapan Algoritma *Bellman-Ford* dalam Menentukan Rute Terpendek UMKM di Kabupaten Padang Lawas Berbasis Web". Melalui penelitian ini, penulis bertujuan untuk mendorong lebih banyak pelaku UMKM untuk menggunakan teknologi untuk meningkatkan efisiensi dan daya saing mereka di pasar. Diharapkan penelitian ini dapat memberikan kontribusi nyata bagi pelaku UMKM di Kabupaten Padang Lawas.

2. METODOLOGI PENELITIAN

2.1 Teknik Pengumpulan Data

Dalam proses pengumpulan informasi tentang topik yang dibahas, penelitian ini memiliki dua jenis sumber data, yaitu data primer dan data sekunder. Data primer dikumpulkan melalui metode observasi dan wawancara yang dilakukan di kantor Diskoperindag Padang Lawas. Sementara itu, data sekunder dikumpulkan melalui studi literatur yang relevan dengan sistem informasi geografis untuk penentuan rute terpendek bagi UMKM. Berikut merupakan penjelasan mengenai pengumpulan data yang dimanfaatkan guna mendukung penelitian ini:

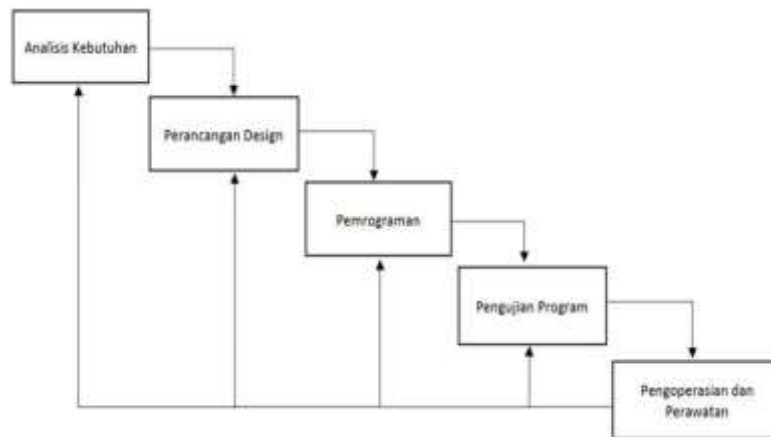
- Observasi*, adalah mengamati langsung objek penelitian dalam situasi nyata [11]. Metode ini bertujuan untuk memahami proses, aktivitas, atau fenomena tertentu secara mendalam melalui pengamatan langsung. Pengumpulan data yang dilakukan dengan pengamatan, dan disertai pencatatan-pencatatan terhadap keadaan atau perilaku objek penelitian [12].
- Wawancara, yakni proses tanya jawab secara langsung dengan narasumber untuk memperoleh informasi yang dibutuhkan [13]. Tujuan wawancara memperoleh informasi mengenai kebutuhan, pandangan, atau pengalaman

subjek yang relevan dengan penelitian. Metode ini efektif untuk data kualitatif dari perspektif pengguna atau pihak terkait[14].

- c. Studi Pustaka, Analisis literatur mencakup pengumpulan informasi dari sumber tertulis seperti buku, majalah, artikel, atau dokumen lain yang relevan dengan topik penelitian[15]. Metode ini digunakan untuk memahami teori, konsep, atau hasil penelitian sebelumnya yang mendukung dasar teori dan analisis penelitian ini[16].

2.2 Metode Pengembangan Sistem

Penelitian ini menggunakan pengembangan model *Waterfall*. Model *Waterfall* merupakan pendekatan pengembangan sistem yang memiliki alur kerja terstruktur dengan tahapan yang disusun secara berurutan dari tahap awal hingga tahap akhir [17]. berikut tahapannya:



Gambar 1. Metode *Waterfall*

Waterfall terdiri atas beberapa tahap yakni:

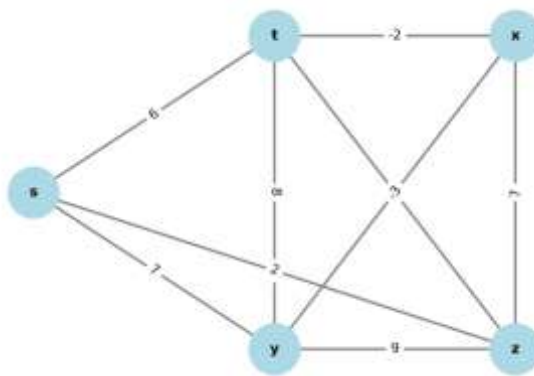
- a. Analisis Kebutuhan, Tahap ini adalah langkah awal dalam proses pengembangan sistem. Pada analisis kebutuhan, data dikumpulkan melalui metode wawancara, *observasi*, maupun studi pustaka untuk memperoleh pemahaman yang mendalam terkait kebutuhan pengguna. Penelitian ini dilakukan secara langsung di Kantor Dinas Koperasi, Usaha Kecil Menengah, Perindustrian, dan Perdagangan yang berlokasi di Jl. KH. Dewantara, Komplek Perkantoran SKPD Terpadu Sigala-gala, Kecamatan Barumun, Kabupaten Padang Lawas, Sumatera Utara. Hasil observasi menunjukkan bahwa permasalahan utama yang dihadapi instansi tersebut belum tersedianya sistem berbasis web yang mampu memfasilitasi masyarakat dalam menemukan rute tercepat menuju lokasi UMKM di Kabupaten Padang Lawas secara efisien dan interaktif. Saat ini, pencarian lokasi UMKM masih dilakukan secara manual tanpa dukungan teknologi pemetaan digital yang dapat menampilkan jalur tercepat. Selain itu, informasi terkait lokasi UMKM di daerah tersebut belum terdigitalisasi dengan baik, sehingga menyulitkan masyarakat dalam mengaksesnya.
- b. Perancangan desain, Pada tahap perancangan, antarmuka sistem divisualisasikan menggunakan diagram *Unified Modeling Language (UML)*, yang mencakup *use case diagram*, *activity diagram*, serta *class diagram*. Pemodelan ini bertujuan untuk menggambarkan rancangan sistem secara terstruktur dan sistematis agar sesuai dengan kebutuhan pengguna sekaligus mampu menjawab permasalahan yang dihadapi oleh Dinas Koperasi, Usaha Kecil Menengah, Perindustrian, dan Perdagangan Kabupaten Padang Lawas.
- c. *Implementation*, Tahap implementasi atau pengkodean merupakan fase awal dalam pembangunan *website*. Pada tahap ini, kode program disusun dengan bahasa pemrograman HTML, PHP, dan CSS, serta didukung dengan basis data yang dibangun menggunakan MySQL. Selanjutnya, rancangan sistem yang telah dibuat sebelumnya mulai direalisasikan dalam bentuk aplikasi web. Dalam pelaksanaannya, penulis memanfaatkan Visual Studio Code sebagai perangkat utama untuk menuliskan sekaligus mengelola kode program. Selain itu, XAMPP dimanfaatkan sebagai platform pendukung dalam pengelolaan dan penyimpanan database. Setelah tahapan implementasi desain selesai, langkah berikutnya adalah menerapkan proses perhitungan metode Bellman- Ford dalam sistem.
- d. *Integration and Testing*, Pada tahap ini, penulis akan menerapkan metode *blackbox* testing. Pengujian *blackbox*, yang juga dikenal sebagai pengujian berbasis fungsional atau spesifikasi aplikasi, difokuskan pada pengujian fungsi sistem tanpa melihat atau menganalisis kode sumber [17]. Metode ini bertujuan untuk menilai sejauh mana fitur-fitur dalam aplikasi berfungsi sesuai dengan harapan serta mampu memenuhi kebutuhan pengguna maupun stakeholder, melalui pengamatan terhadap perilaku sistem dan hasil keluaran yang dihasilkan berdasarkan input tertentu.

- e. *Operation and Maintenance*, Pada tahapan ini, kemungkinan dilakukannya pemeliharaan terhadap sistem yang telah dikembangkan tetap terbuka. Namun, dalam konteks penelitian ini, tahap pemeliharaan belum dianggap sebagai bagian yang wajib dilakukan oleh penulis.

2.3 Tahapan Metode *Bellman-Ford*

Algoritma *Bellman-Ford* adalah metode yang digunakan untuk menemukan jalur terpendek dalam sebuah graf. Algoritma ini bekerja dengan menghitung jarak terpendek dari titik awal ke semua titik lain dalam graf yang memiliki bobot. Istilah “sumber” mengacu pada titik awal perhitungan, di mana seluruh jarak terpendek dihitung berdasarkan simpul tersebut [21]. Keunggulan utama *Bellman-Ford* dibandingkan algoritma pencarian jalur terpendek lainnya terletak pada kemampuannya dalam menangani graf dengan bobot negatif [22]. Selain itu, penelitian mutakhir memperlihatkan bahwa *Bellman-Ford* masih relevan dalam konteks tertentu, misalnya untuk perencanaan jalur evakuasi multi-lantai yang lebih optimal dibandingkan Dijkstra[26].

Graf Bellman-Ford (Figure 24.4, CLRS 4th ed, 2022)



Gambar 2. Contoh Menemukan Jalur pakai Algoritma *Bellman-Ford*

Untuk menemukan rute terpendek, digunakan pendekatan dengan representasi grafis. Graf tersebut adalah graf berbobot, yang berarti bahwa setiap bagian dari graf memiliki nilai atau bobot tertentu. Graf tersebut berfungsi untuk merepresentasikan suatu himpunan objek beserta hubungan yang terjalin diantara objek-objek tersebut. Contoh penerapan diagram graf yaitu mengoptimalkan kelancaran arus lalu lintas [23]. Adapun tahapan-tahapan dalam Algoritma *Bellman-Ford* sebagai berikut:

1. Tentukan vertex sumber (*source*) serta daftarkan seluruh vertex dan edge yang ada.
2. Tetapkan nilai jarak (*distance*) dari vertex sumber sebesar 0, sementara nilai jarak untuk vertex lainnya diatur sebagai tak hingga.

Lakukan *iterasi* semua vertex yang terhubung vertex sumber menggunakan rumus sebagaimana berikut ini:

$$M[i, V] = \min (M[i - 1, V] + (M[i - 1, n] + C_{vn})) \quad (1)$$

Keterangan:

M: Simpul atau titik untuk uji per-Iterasi

i : Proses uji Iterasi

V: Point/titik perhitungan uji Iterasi

n : Point/titik yang terhubung untuk uji Iterasi

C : Bobot atau nilai antara simpul Iterasi

Penelitian ini juga mengevaluasi aspek performa sistem:

- a. Efisiensi jalur: membandingkan hasil rute *Bellman-Ford* dengan rute manual/alternatif. Dalam studi ini, diperoleh penghematan jarak sebesar 30% (1,795 km vs. 2,563 km).
- b. Waktu komputasi algoritma: rata-rata waktu eksekusi algoritma *Bellman-Ford* dihitung dalam milidetik untuk dataset jalan Padang Lawas.
- c. Kompleksitas algoritmik: dianalisis secara teoretis (*Bellman-Ford* $O(V E)$)
- d. Pengujian sistem: dilakukan uji *black-box* untuk fungsionalitas, serta uji performa (response time halaman *web*, kecepatan *query* peta, dan waktu perhitungan rute).

Hasil evaluasi ini akan memberikan gambaran menyeluruh, tidak hanya terkait akurasi rute, tetapi juga kinerja sistem dalam aspek kecepatan, skalabilitas, dan efisiensi pemrosesan data.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

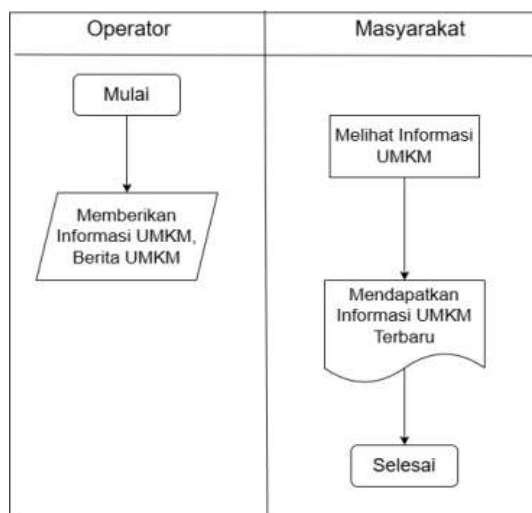
3.1 Requirement Planning

Requirement planning merupakan tahap perencanaan yang mencakup beberapa sub-tahap, yaitu yang berkaitan dengan Diskoperindag Padang Lawas, analisis sistem saat ini, analisis desain sistem baru, serta analisis perhitungan Algoritma *Bellman-Ford*.

3.1.1 Analisis Sistem Yang Sedang Berjalan

Berikut adalah penjelasan tentang sistem yang saat ini beroperasi di Dinas Koperasi, Usaha Kecil dan Menengah, Industri dan Perdagangan Kabupaten Padang Lawas

1. Sistem yang saat ini beroperasi hanya menyediakan berita dan informasi UMKM yang berada di Padang Lawas.
2. Ketika pengguna atau masyarakat ingin melihat daftar UMKM, mereka hanya dapat melihat informasi tentang UMKM dan lokasi mereka. Namun, tidak semua UMKM memiliki data lokasi yang lengkap.
3. Selama proses pencarian UMKM, sistem tidak menampilkan peta atau titik lokasi secara rinci.
4. Sistem saat ini tidak memberikan informasi kepada pengguna tentang rute terdekat. Selanjutnya, sistem operasional akan dipresentasikan dalam diagram alir berikut:



Gambar 3. *Flowchart* Sistem Yang Sedang Berjalan

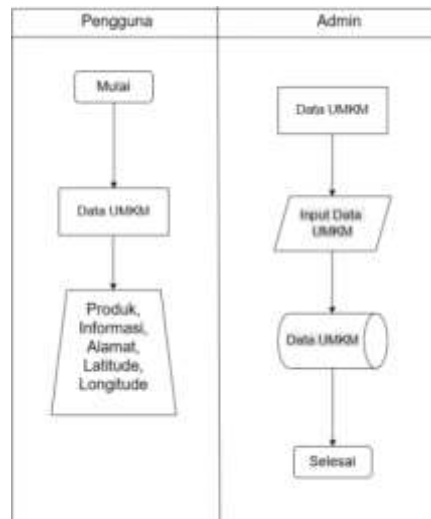
3.1.2 Analisis Sistem Usulan

Adapun peneliti menyarankan pembentukan sistem baru yang bertujuan untuk memperluas promosi UMKM di Kabupaten Padang Lawas. Diharapkan dengan adanya sistem ini bisa mempermudah kantor Diskoperindag Kabupaten Padang Lawas dalam mempromosikan UMKM, sekaligus memfasilitasi kemudahan bagi wisatawan dan masyarakat saat berkunjung ke wilayah tersebut.

Penerapan sistem ini dapat membantu manfaat praktis bagi UMKM untuk meningkatkan efisiensi distribusi barang dengan meminimalkan jarak tempuh, sehingga mengurangi biaya transportasi dan mempercepat waktu layanan. Bagi konsumen, sistem ini mempermudah akses informasi lokasi UMKM dan meningkatkan kenyamanan dalam menemukan produk lokal. Secara lebih luas, digitalisasi akses dan promosi UMKM melalui sistem ini berpotensi meningkatkan daya saing UMKM Kabupaten Padang Lawas di era transformasi digital.

Berikut merupakan gambaran mengenai sistem yang diusulkan, yaitu:

1. Sistem usulan nantinya merupakan sistem berbasis jaringan, sehingga masyarakat maupun wisatawan bisa mengaksesnya dengan praktis.
2. Sistem ini dirancang untuk membantu Dinas Koperasi, UKM, Perindustrian, dan Perdagangan dalam mempromosikan berbagai macam usaha di wilayah Kabupaten Padang Lawas.
3. Melalui sistem ini, masyarakat bisa lebih efisien menemukan jarak terdekat yang harus dilalui, disertai tampilan petunjuk arah jalan yang jelas. Usulan sistem tersebut dipaparkan melalui gambar *flowmap* sebagai berikut:



Gambar 4. Flowmap Usulan Sistem

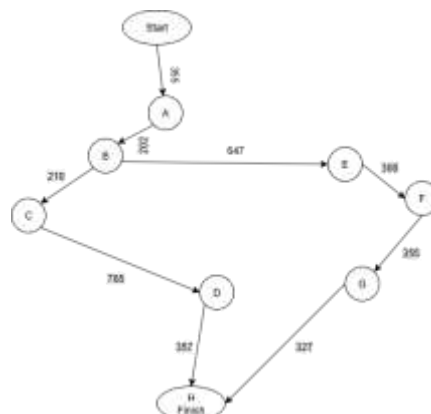
3.2 Tahapan Algoritma Bellman-Ford

Dalam penelitian ini, aplikasi pencarian UMKM terdekat yang akan dikembangkan menggunakan algoritma *Bellman-Ford* untuk menentukan rute terpendek serta jarak tempuh yang diperlukan. Contoh kasus yang diangkat oleh penulis terkait pencarian rute terpendek disajikan sebagaimana berikut:

Tabel 1. Keterangan Elemen Rute Terpendek

Node	Nama Jalan
1 (Start)	Jl. Sibuhuan – Gunung Tua
2 (A)	Jl. Baginda Suaduon
3 (B)	Jl. Sosopan
4 (C)	Jl. Kihajar Dewantara – Lintas Riau
5 (D)	Jl. Karya Pembangunan
6 (E)	Jl. Sisingamangaraja
7 (F)	Jl. Pejuang XLV
8 (G)	Jl. Kol. H. Moh. Nurdin
9 (H)	Jl. Veteran – Surapati

Langkah 1: Peta yang tersedia diubah dahulu menjadi graf berarah dengan bobot, sebagaimana pada gambar berikut:



Gambar 5. Tahap Pertama Algoritma *Bellman-Ford*

Langkah 2: Setelah peta dikonversi menjadi graf berarah, titik-titik diklasifikasikan secara sistematis, dimulai dari titik awal (start) hingga titik akhir tujuan (finish), dengan menguraikan seluruh titik dan sisi yang terlibat.

Langkah 3: Pemberian tanda atau simbol sebagai penanda. Titik awal biasanya ditandai dengan "0", sedangkan titik-titik lainnya ditandai dengan simbol (∞).

Langkah ke 4: Uji *Iterasi* diawali titik start yang ditandai "0" hingga mencapai titik akhir (finish). Sebelumnya, titik-titik yang terhubung langsung dengan titik "0" (start) beserta nilai atau bobotnya. Pada proses uji *iterasi*, jarak dari titik awal ditambahkan ke masing-masing titik yang terhubung, dan hasil terkecil dijadikan sebagai acuan utama. Di bawah ini disajikan tabel awal *iterasi* yang menggunakan Algoritma *Bellman-Ford*:

Tabel 2. Tabel awal Algoritma *Bellman-Ford*

<i>Iterasi</i>	Start	A	B	C	D	E	F	G	H (Finish)
0	0	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞

Pada tabel 2. semua titik A hingga H masih memiliki nilai tak hingga (∞). Untuk menetapkan nilai jarak dari titik awal atau sumber hingga titik tujuan akhir, maka *iterasi* dilakukan berlanjut hingga *iterasi* terakhir tercapai.

Pada uji *iterasi* ke-1, dimulai perhitungan dengan seluruh titik masih ditandai ∞, dan kemudian bobot jarak dari titik awal ke tujuan akhir ditambahkan. Iterasi pertama dimulai dari titik awal (Jl. Sibuhuan – Gunung Tua) yang memiliki nilai 0, kemudian nilai titik A (Jl. Baginda Suaduon) yang adalah 352 meter ditambahkan, menghasilkan nilai 352 meter untuk iterasi pertama. Berikut merupakan perhitungan *iterasi* ke-1:

$$\begin{aligned}
 M[1,A] &= \min (M[0,A] + (M[0,Start] + 355)) \\
 &= \min (\infty [0 + 355]) \\
 &= \min (\infty [355]) \\
 &= 355 \text{ M}
 \end{aligned}$$

Untuk mengetahui titik yang sudah memiliki nilai setelah dilakukan *iterasi* ke-1, dapat dilihat pada tabel 3:

Tabel 3. *Iterasi* 1

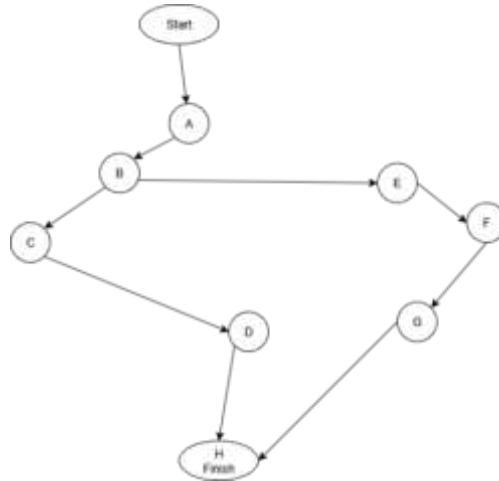
<i>Iterasi</i>	Start	A	B	C	D	E	F	G	H (Finish)
0	0	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞
1	0	355	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞

Setelah melakukan uji iterasi pertama, titik A (Jl. Baginda Suaduon) menerima bobot atau nilai 352, sementara titik-titik lainnya masih memiliki nilai ∞. Ini terjadi karena dalam perhitungan hanya titik A yang terhubung langsung ke titik awal, yang mengakibatkan nilai ∞ tetap untuk titik-titik yang belum dijangkau. Setelah melakukan enam iterasi berturut-turut, semua titik yang sebelumnya tidak memiliki nilai kini telah dihitung dan menerima bobot atau nilai yang menunjukkan jalur terpendek ke UMKM. Proses *iterasi* selesai pada iterasi ke-6 karena semua nilai akhir telah diperoleh hingga mencapai titik Finish. Tabel 4 di bawah ini menunjukkan hasil dari seluruh proses iterasi beserta nilai yang diperoleh:

Tabel 4. *Iterasi* 6

<i>Iterasi</i>	Start	A	B	C	D	E	F	G	H (Finish)
0	0	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞
1	0	355	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞
2	0	355	557	∞	∞	∞	∞	∞	∞
3	0	355	557	767	∞	1175	∞	∞	∞
4	0	355	557	767	1532	1175	1475	∞	∞
5	0	355	557	767	1532	1175	1475	2122	1795
6	0	355	557	767	1532	1175	1475	2122	2563

Setelah melakukan *iterasi* keenam, titik akhir (finish) pada jalur yang melalui titik E sudah mencapai bobot/nilai sebesar 2.563 km. Sementara itu, pada *iterasi* sebelumnya, yaitu *iterasi* kelima, nilai jarak menuju titik akhir melalui titik C diperoleh bobot sebesar 1.795 km. Gambar di bawah ini mengilustrasikan proses *iterasi* ke-6:



Gambar 6. Proses *Iterasi* ke-6.

Setelah penyelesaian enam *iterasi*, diperoleh dua nilai minimum untuk mencapai titik akhir, yakni pada *iterasi* kelima dan *iterasi* keenam. Nilai lintasan minimum pada *iterasi* kelima adalah 1.795 km, sedangkan pada *iterasi* keenam sebesar 2.563 km. Selanjutnya, dipilih nilai bobot minimum terendah, yaitu 1.774 km, guna memfasilitasi kemudahan pengguna dalam mencapai tujuan akhir (finish). Dengan demikian, lintasan yang direkomendasikan bagi pengguna adalah dari titik start (mulai) menuju A, B, C, D, sampai finish.

3.3 Implementasi Sistem

Tahap ini merupakan proses penerapan dan pengujian sistem baru[24]. Implementasi ini sistem mulai dijalankan dalam kondisi sebenarnya. Tujuan utamanya adalah untuk memastikan efektivitas sistem yang telah dikembangkan sekaligus mengidentifikasi kelebihan dan kekurangan dari sistem yang diuji. Penelitian ini menghasilkan sebuah sistem berbasis web yang memungkinkan pencarian lokasi UMKM terdekat di Kabupaten Padang Lawas melalui penerapan Algoritma Bellman-Ford, sehingga dapat dimanfaatkan oleh masyarakat setempat maupun wisatawan. Kelebihan sistem yang dibangun adalah kemampuannya menyajikan informasi secara interaktif melalui peta berbasis *web* (*Leaflet JS*), sehingga pengguna dapat dengan mudah mengakses lokasi UMKM dan memperoleh rute tercepat tanpa perlu instalasi aplikasi tambahan. Fitur ini mendukung digitalisasi UMKM dan memperluas jangkauan informasi bagi masyarakat maupun wisatawan.

Jika dilihat dari penelitian sebelumnya, hasil penelitian konsisten dengan Melliana et al. (2023) yang mengaplikasikan *Bellman-Ford* pada distribusi barang PT TIKI di Dumai, dengan penghematan jarak 4,5 km. Namun, penelitian kami lebih menekankan aspek promosi UMKM melalui WebGIS interaktif, yang jarang dibahas dalam studi sebelumnya. Penelitian Talenta & Hermansyah (2023) menggunakan algoritma *Dijkstra* untuk pemetaan UMKM berbasis Android, tetapi tidak menyajikan integrasi langsung dengan promosi lokasi pada peta digital. Dengan demikian, penelitian ini memberikan kontribusi unik berupa integrasi algoritma shortest-path dengan sistem promosi berbasis web.

a. Tampilan Halaman Dashboard Berbasis *Website*

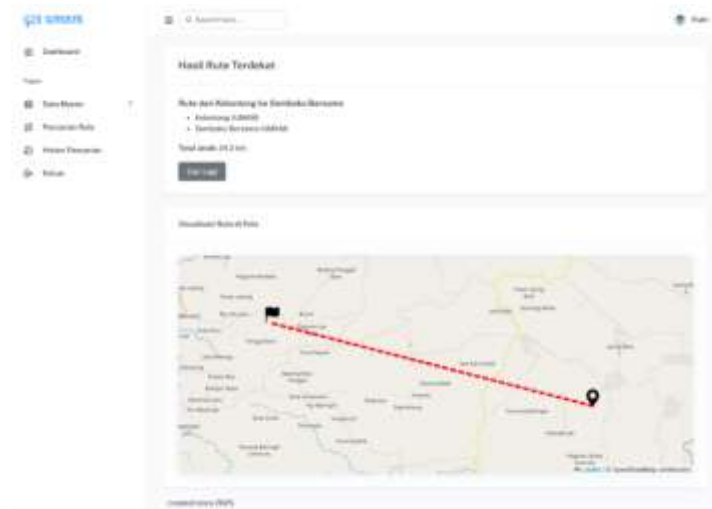
Halaman utama aplikasi sistem pemetaan UMKM di Kabupaten Padang Lawas dirancang dengan penerapan Algoritma Bellman-Ford. Pada halaman ini tersedia beberapa menu utama, meliputi menu UMKM, data kategori, informasi tentang aplikasi, serta data pengguna. Berikut tampilan menu utama untuk administrator:



Gambar 5. Tampilan Dashboard Admin

b. Tampilan Halaman Hasil Penerapan *Bellman-Ford*

Halaman ini menampilkan hasil pencarian rute terpendek dengan Algoritma Bellman-Ford. Hasil tersebut divisualisasikan dalam bentuk titik lokasi yang merepresentasikan posisi UMKM:



Gambar 6. Tampilan Menu Graph Admin.

c. Tampilan Halaman Sistem UMKM Pencarian Rute Terpendek



Gambar 7. Tampilan Sistem UMKM Berbasis Website.



4. KESIMPULAN

Penelitian ini berhasil merancang sistem informasi geografis (SIG) berbasis *website*, dengan algoritma *Bellman-Ford* untuk menentukan rute terdekat UMKM pada Kabupaten Padang Lawas. Sistem yang dibangun terbukti dapat menghitung jalur optimal dengan hasil terpendek sejauh 1,795 km dibandingkan rute alternatif yang mencapai 2,563 km, sehingga mempermudah masyarakat maupun wisatawan dalam menemukan lokasi UMKM secara cepat, akurat, dan efisien. Dengan demikian, sistem ini memberikan manfaat praktis berupa kemudahan akses lokasi, efisiensi distribusi barang, serta promosi digital interaktif yang dapat meningkatkan daya saing UMKM di daerah. Kontribusi ilmiah penelitian ini terletak pada penerapan algoritma *Bellman-Ford* yang diintegrasikan dengan *WebGIS* berbasis *Leaflet JS* dalam konteks promosi UMKM. Model yang dikembangkan bersifat replikatif sehingga berpotensi diterapkan pada daerah lain dengan karakteristik UMKM serupa, khususnya wilayah yang memiliki tantangan aksesibilitas dan keterbatasan infrastruktur digital. Namun, penelitian ini memiliki beberapa keterbatasan. Pertama, dataset yang digunakan masih terbatas pada sejumlah UMKM di Kabupaten Padang Lawas sehingga belum mencakup variasi data yang lebih luas. Untuk penelitian selanjutnya, disarankan adanya pengembangan sistem dengan integrasi data lalu lintas *real-time* agar rekomendasi rute menjadi lebih adaptif. Selain itu, perbandingan kinerja algoritma *Bellman-Ford* dengan algoritma lain seperti Dijkstra, A*, maupun pendekatan berbasis *heuristik* atau *Graph Neural Network* (GNN) dapat memperkuat analisis performa. Pengembangan ke arah optimasi multi-kriteria (jarak, waktu, biaya) juga dapat meningkatkan relevansi praktis sistem bagi UMKM. Secara keseluruhan, penelitian ini tidak hanya berkontribusi dalam aspek teknis berupa pemodelan rute terpendek, tetapi juga memberikan manfaat nyata bagi UMKM dalam meningkatkan efisiensi distribusi produk, memperluas jangkauan pemasaran, serta memperkuat daya saing di era digital.

REFERENCES

- [1] T. Triase, R. Al Ikhsan, and P. I. J. Hasibuan, "E-Commerce Untuk Meningkatkan Penjualan Pada Umkm Solo Fried Chicken Berbasis Website Php Native," *JUTECH J. Educ. Technol.*, vol. 5, no. 1, pp. 20–34, 2024, doi: 10.31932/jutech.v5i1.3170.
- [2] J. Barreto *et al.*, "Pertanian Di Kabupaten Belu Berbasis Dashboard," vol. 6, no. 2, pp. 293–303.
- [3] A. D. Achmad, A. S. Arief, D. Din, M. D. Rusli, and F. M. Rajib, "Sistem Informasi Geografis Umkm Bahan Makanan Dan Pangan Bagi Masyarakat Dalam Menghadapi New Normal," *J. SAINTEKOM*, vol. 12, no. 1, pp. 103–114, 2022, doi: 10.33020/saintekom.v12i1.257.
- [4] Melliana, T. Mesra, Yusrizal, and Sirlyana, "Prosiding Seminar Nasional Teknik Industri (SENASTI)," *Pros. Semin. Nas. Tek. Ind.*, no. C, pp. 608–618, 2023.
- [5] S. Siswanti, R. Febriyanti, and R. T. Vlandari, "Implementasi Metode Bellman Ford Untuk Pencarian Puskesmas Di Kabupaten Karanganyar," *POSITIF J. Sist. dan Teknol. Inf.*, vol. 8, no. 1, pp. 52–57, 2022, doi: 10.31961/positif.v8i1.1308.
- [6] R. Setiawan, R. G. Santosa, and J. K. Tampubolon, "Implementasi Algoritma *Bellman-Ford* untuk Pencarian Jalur Terpendek Menuju Rumah Sakit di Kota Yogya Berbasis Android," *J. Terap. Teknol. Inf.*, vol. 3, no. 2, pp. 95–104, 2021, doi: 10.21460/jutei.2019.32.184.
- [7] Talenta Arta Deva Victoria and Hermansyah, "Penerapan Algoritma Dijkstra dalam Pemetaan UMKM Berbasis Android," *Bull. Comput. Sci. Res.*, vol. 3, no. 6, pp. 420–426, 2023, doi: 10.47065/bulletincsr.v3i6.276.
- [8] M. Surur, H. Saputro, and N. Azizah, "Implementasi Algoritma Apriori Dalam Menentukan Pola Pembelian (Cap N Chris Café & Resto Jepara) Berbasis Web," *J. Inf. Syst. Comput.*, vol. 2, no. 2, pp. 36–45, 2022, doi: 10.34001/jister.v2i2.393.
- [9] 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.
- [10] A. B.- Ford and W. S. Utami, "Jurnal Cybernetic Inovatif," vol. 8, no. 11, pp. 16–28, 2024.
- [11] S. Zanariyah, "Teknik *Observasi* Yang Efektif Dan Efisien Pada KegiatanKuliah Kerja Nyata (KKN)," *J. Pengabd. Multidisiplin*, vol. 4, no. 3, p. 2024, 2024.
- [12] M. A. Fikri and Triase, "Aplikasi Pengolahan Data Bantuan Zakat Pada Baznas Provsu Berbasis Android," *J. Comput. Inf. Technol.*, vol. 7, no. 2, pp. 83–93, 2024.
- [13] A. Ikhwan and D. A. P. Lubis, "Perancangan Sistem Informasi Laporan Pengaduan Masyarakat Berbasis WEB pada Dinas ESDM SUMUT," *Hello World J. Ilmu Komput.*, vol. 2, no. 1, pp. 1–13, 2023, doi: 10.56211/helloworld.v2i1.193.
- [14] A. S. Irawan and W. S. Utami, "Aplikasi Reminder Jadwal Kuliah dan Tugas Mahasiswa Berbasis Android," *J. Komput. dan Inform.*, vol. 5, no. 2, pp. 288–300, 2023.
- [15] M. Alda, M. Sweet, M. J. Rayhannur, and M. J. Toar, "Aplikasi Laporan Berita Jurnalis Pada Surat Kabar Harian Sumut Pos Medan Menggunakan Kodular," *J. JTIK (Jurnal Teknol. Inf. dan Komunikasi)*, vol. 8, no. 2, pp. 491–497, 2024, doi: 10.35870/jtik.v8i2.1947.
- [16] M. Waruwu, S. Natijatul, P. R. Utami, and E. Yanti, "Metode Penelitian Kuantitatif: Konsep , Jenis , Tahapan dan Kelebihan," vol. 10, pp. 917–932, 2025.
- [17] T. Ramansyah and H. Rosyid, "Optimasi Sistem Informasi Absensi Berbasis Website pada Dinas Komunikasi dan Informatika Kabupaten Lamongan," vol. 4, no. 2, pp. 1024–1031, 2024.
- [18] I. Junaedi and Suyantapa, "Uyantapa 2," vol. 7, 2020.





- [19] A. Ikhwan and Z. Khalilah, “Sistem Informasi Pengolahan Data Rekomendasi Teknis Berbasis Web,” *sudo J. Tek. Inform.*, vol. 2, no. 1, pp. 1–10, 2023, doi: 10.56211/sudo.v2i1.192.
- [20] M. W. Adventa, E. Noviani, and H. Intisari, “MENENTUKAN LINTASAN TERPENDEK PADA JALUR PENGANGKUTAN KELAPA SAWIT MENGGUNAKAN ALGORITMA *BELLMAN-FORD* (Studi Kasus: PT. Perkebunan Nusantara XIII Kebun Parindu Afdeling Inti I),” *Bul. Ilm. Math. Stat. dan Ter.*, vol. 12, no. 5, pp. 425–432, 2023.
- [21] B. S. Chulasoh *et al.*, “PENERAPAN BELLMANN-FORD ALGORITHM DALAM PENCARIAN RUTE TERPENDEK DISTRIBUSI SUKU CADANG,” vol. 11, no. 3, pp. 137–144, 2025.
- [22] A. Permatasari, P. H. Trisnawan, and ..., “Implementasi Algoritme Dijkstra dan Logika Fuzzy untuk Pencarian Jalur pada Arsitektur Jaringan Software Defined Network (SDN),” ... *Tekno. Inf. dan ...*, vol. 6, no. 4, pp. 1685–1692, 2022, [Online]. Available: <https://j-ptiik.ub.ac.id/index.php/j-ptiik/article/view/10902>
- [23] N. N. Siregar, S. Suendri, and T. Triase, “Penerapan Algoritma Floyd Warshall Pada Sistem Informasi Geografis Lokasi Pariwisata Kota Padang Sidempuan Berbasis Android,” *JISTech (Journal Islam. Sci. Technol.*, vol. 6, no. 2, pp. 50–60, 2021, doi: 10.30829/jistech.v6i2.11059.
- [24] L. Lukman, “Implementasi Dan Testing Desain Sistem Berkas SOP Amikom Yogyakarta,” *Respati*, vol. 14, no. 2, pp. 20–30, 2019, doi: 10.35842/jtir.v14i2.284.
- [25] A. Alamoudi and B. Al-Hashimi, “Comparing Energy Consumption of *Bellman-Ford* and Dijkstra Algorithms for Single-Source Shortest Path Problems,” *Micromachines*, vol. 13, no. 5, p. 67, 2024, doi: 10.3390/mi1305067.
- [26] S. Bhat, S. Rao, N. Kamath, and A. Nayak, “Comparative Analysis of *Bellman-Ford* and Dijkstra’s Algorithms for Optimal Evacuation Route Planning in Multi-Floor Buildings,” *Int. J. Comput. Appl. Technol.*, vol. 14, no. 2, pp. 101–113, 2024. [Online]. Available: <https://impressions.manipal.edu/open-access-archive/7112>

