

Optimasi Distribusi Makan Bergizi Gratis berbasis *Vehicle Routing Problem with Time Windows (VRPTW)*

Irwan Syahputra¹, Anzas Ibezato Zalukhu², Suhardiansyah³, Maida Indrayani⁴, Ayu Ofta Sari⁵, Dewi Sartika⁶, Bambang Sugito⁷

¹ Fakultas Teknologi dan Ilmu Komputer, Informatika, Universitas Satya Terra Bhinneka, Medan, Indonesia

^{2,4} Sistem Informasi, STMIK Methodist Binjai, Binjai, Indonesia

³ Rekayasa Perangkat Lunak, Fakultas Sains & Teknologi, Institut Teknologi dan Bisnis Indonesia, Medan, Indonesia

⁵ Sistem Informasi, Fakultas Teknik dan Ilmu Komputer, Universitas Pembinaan Masyarakat Indonesia

⁶ Manajemen, Fakultas Sosial Humaniora Dan Pendidikan, Universitas Haji Sumatera Utara, Medan, Indonesia

⁷ Prodi Teknik Listrik, Jurusan Teknik Elektro, Politeknik Negeri Medan, Medan, Indonesia

Email: ¹irwan@satyaterabhinneka.ac.id, ²anzaszalukhu@gmail.com, ³suhardiansyah16@gmail.com

⁴maida.indrayani92@gmail.com, ⁵ayuofta2849@gmail.com, ⁶dewisartikadewi088@gmail.com, ⁷bambang.sugito@pertamina.com

Email Penulis Korespondensi: irwan@satyaterabhinneka.ac.id

Abstrak- Program Makan Bergizi Gratis (MBG) memerlukan sistem distribusi yang mampu mengirimkan makanan secara tepat waktu untuk menjaga kualitas dan keamanan pangan. Penelitian ini bertujuan mengimplementasikan metode *Vehicle Routing Problem with Time Windows (VRPTW)* pada Sistem Informasi Distribusi MBG berbasis web guna mengoptimalkan rute distribusi berdasarkan kapasitas kendaraan, jumlah permintaan, lokasi tujuan, dan batasan waktu pelayanan. Metode penelitian meliputi identifikasi masalah, studi literatur, pengumpulan data, perancangan sistem, implementasi, serta evaluasi sistem. Penelitian menggunakan data operasional dari Satuan Pelayanan Pemenuhan Gizi (SPPG) Desa Baru Pasar VIII Tanjung Beringin, Kabupaten Langkat yang melayani 13 sekolah dengan total permintaan 1.672 porsi makanan menggunakan dua kendaraan distribusi. Hasil implementasi menunjukkan bahwa metode VRPTW menghasilkan total jarak distribusi sebesar 42,74 km. Hasil evaluasi menunjukkan bahwa VRPTW mampu menurunkan total jarak tempuh dari 49,86 km menjadi 42,74 km atau meningkatkan efisiensi distribusi sebesar 14,28%, serta mengurangi waktu distribusi dari 118 menit menjadi 101 menit atau sebesar 14,41% dibandingkan metode konvensional. Selain itu, sistem mampu mengotomatisasi perencanaan rute, mengurangi tumpang tindih rute distribusi, serta meningkatkan pemanfaatan kapasitas kendaraan. Penelitian ini menunjukkan bahwa integrasi metode VRPTW pada Sistem Informasi Distribusi MBG dapat meningkatkan efisiensi operasional dan mendukung distribusi makanan yang lebih tepat waktu.

Kata Kunci: *Vehicle Routing Problem with Time Windows (VRPTW)*; Sistem Informasi Distribusi; Makan Bergizi Gratis (MBG); Optimasi Rute; Logistik Pangan.

Abstract- The Free Nutritious Meal Program (MBG) requires an efficient distribution system to ensure the timely delivery of meals while maintaining food quality and safety. This study aims to implement the *Vehicle Routing Problem with Time Windows (VRPTW)* method in a web-based MBG Distribution Information System to optimize delivery routes based on vehicle capacity, demand quantity, destination locations, and service time window constraints. The research methodology consisted of problem identification, literature review, data collection, system design, implementation, and system evaluation. The study utilized operational data from the Nutrition Fulfillment Service Unit (SPPG) in Desa Baru Pasar VIII, Tanjung Beringin, Langkat Regency, serving 13 schools with a total demand of 1,672 meal portions using two delivery vehicles. The implementation results showed that the VRPTW method generated an optimized distribution route with a total travel distance of 42.74 km. The evaluation results demonstrated that VRPTW reduced the total travel distance from 49.86 km to 42.74 km, representing a 14.28% improvement in distribution efficiency. Furthermore, the total distribution time decreased from 118 minutes to 101 minutes, achieving a 14.41% reduction compared with the conventional distribution method. In addition, the system automated route planning, minimized route overlap, and improved vehicle capacity utilization. These findings indicate that integrating the VRPTW method into the MBG Distribution Information System enhances operational efficiency and supports more effective and timely meal distribution.

Keywords: *Vehicle Routing Problem with Time Windows (VRPTW)*; Distribution Information System; Free Nutritious Meal Program (MBG); Route Optimization; Food Logistics

1. PENDAHULUAN

Program Makan Bergizi Gratis (MBG) adalah salah satu pilar krusial dan fokus pemerintah saat ini dalam upaya pengentasan stunting dan peningkatan kemampuan kognitif anak usia sekolah di Indonesia [1], [2]. Dalam implementasinya, program ini membutuhkan dukungan rantai pasok (*supply chain*) yang sangat tangguh dan maksimal [3]. Masalah utama yang menjadi tantangan dalam operasional harian MBG adalah proses distribusi makanan dari Satuan Pelayanan Pemenuhan Gizi (SPPG) yang telah selesai dimasak menuju beberapa sekolah target [4], [5], [6]. Makanan siap saji memiliki karakteristik sebagai *perishable goods* (barang yang mudah basi/rusak), sehingga menuntut waktu pengiriman yang efisien [7]. Pelaksanaan Program Makan Bergizi Gratis (MBG) dilakukan melalui Satuan Pelayanan Pemenuhan Gizi (SPPG). SPPG bertanggung jawab atas perencanaan menu, pengadaan bahan baku, pengolahan, pengemasan, dan distribusi makanan kepada penerima manfaat. Dalam operasionalnya, satu SPPG dapat melayani ribuan porsi makanan setiap hari ke berbagai lokasi distribusi dengan batas waktu pengiriman yang telah ditentukan [8], [9].

Salah satu tantangan utama dalam pelaksanaan Program Makan Bergizi Gratis (MBG) adalah keterlambatan distribusi makanan. Keterlambatan ini dapat menyebabkan makanan diterima setelah jam istirahat sekolah, sehingga mengganggu proses belajar mengajar dan mengurangi efektivitas program. Selain itu, waktu distribusi yang lebih lama berisiko menurunkan suhu, kualitas, dan keamanan makanan yang diterima oleh peserta didik [10]. Keterlambatan distribusi makanan merupakan salah satu permasalahan utama dalam implementasi Program Makan Bergizi Gratis (MBG). Berdasarkan hasil riset LabSocio Universitas Indonesia, sebanyak 73,3% sekolah melaporkan kendala dalam pelaksanaan program, khususnya terkait keterlambatan pengiriman makanan dan koordinasi distribusi. Penelitian tersebut juga menunjukkan bahwa hanya 46% responden yang menyatakan makanan diterima tepat waktu, sehingga mengindikasikan perlunya peningkatan efisiensi sistem distribusi MBG [11]. Penentuan rute distribusi dan alokasi armada pada Program Makan Bergizi Gratis (MBG) umumnya masih dilakukan secara konvensional berdasarkan pertimbangan pengemudi atau koordinator logistik dengan bantuan aplikasi *Google Maps*. Pendekatan tersebut berpotensi menyebabkan inefisiensi operasional, antara lain terjadinya tumpang tindih rute (*overlapping routes*), rendahnya tingkat pemanfaatan kapasitas kendaraan, keterlambatan pengiriman, dan meningkatnya biaya distribusi [10].

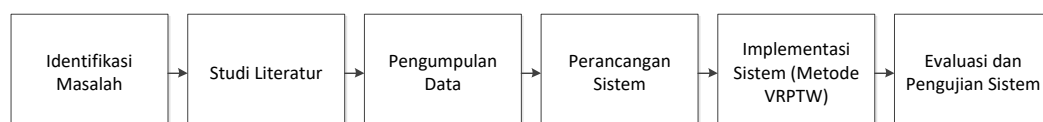
Untuk menyelesaikan permasalahan distribusi tersebut, digunakan metode *Vehicle Routing Problem with Time Windows* (VRPTW) yang diintegrasikan ke dalam Sistem Informasi Distribusi MBG. Algoritma ini bekerja dengan mengevaluasi matriks jarak antar lokasi tujuan, mengalokasikan kapasitas kendaraan secara optimal, menyesuaikan jumlah permintaan pada setiap titik distribusi, serta memastikan bahwa proses pengiriman dan pelayanan dilakukan sesuai dengan jendela waktu (*time windows*) yang telah ditentukan. Penerapan metode ini diharapkan mampu mengurangi jarak tempuh, meningkatkan pemanfaatan armada, menekan biaya operasional, dan memastikan makanan diterima tepat waktu.

Berdasarkan studi literatur yang telah dilakukan, penelitian mengenai *Vehicle Routing Problem with Time Windows* (VRPTW) telah banyak diterapkan pada berbagai sektor distribusi, seperti distribusi produk industri, roti, LPG, dan pengangkutan sampah. Penelitian pertama berfokus pada optimasi VRPTW dengan *rigid* dan *flexible time windows* menggunakan pendekatan (MILP) untuk meminimalkan biaya distribusi [12]. Penelitian kedua membandingkan beberapa algoritma metaheuristik seperti *Adaptive Large Neighborhood Search* (ALNS), *Simulated Annealing* (SA), dan *Genetic Algorithm* (GA) dalam distribusi roti dengan tujuan meminimalkan jarak tempuh [13]. Penelitian ketiga menerapkan model Multi-Trip VRPTW menggunakan algoritma ACS-RVND pada distribusi LPG [14]. Sementara itu, penelitian keempat mengintegrasikan *Dragonfly Algorithm* dengan *Nearest Neighbor* untuk meningkatkan efisiensi rute distribusi [15], dan penelitian kelima mengkombinasikan VRPTW dengan *Nearest Insertion Heuristic* untuk optimasi pengangkutan sampah [16]. Pada penelitian-penelitian tersebut berhasil menunjukkan efektivitas VRPTW dalam menyelesaikan permasalahan distribusi, sebagian besar penelitian masih berfokus pada optimasi rute sebagai model matematis atau algoritma komputasi tanpa mengintegrasikannya secara langsung ke dalam sistem informasi operasional yang dapat digunakan secara real-time oleh pengelola distribusi. Selain itu, objek penelitian yang digunakan umumnya berupa distribusi barang komersial, LPG, maupun pengangkutan sampah yang memiliki karakteristik distribusi berbeda dengan Program Makan Bergizi Gratis (MBG). Program MBG memiliki kompleksitas yang lebih tinggi karena melibatkan distribusi makanan siap konsumsi yang harus sampai kepada penerima dalam rentang waktu tertentu untuk menjaga kualitas, keamanan, dan kelayakan konsumsi makanan. Selain mempertimbangkan kapasitas kendaraan dan jarak tempuh, distribusi MBG juga harus memperhatikan jumlah porsi makanan pada setiap sekolah tujuan, waktu pelayanan yang ketat, serta keterlambatan distribusi yang dapat menurunkan kualitas layanan program.

Berdasarkan kajian penelitian terdahulu, belum terdapat penelitian yang mengimplementasikan metode *Vehicle Routing Problem with Time Windows* (VRPTW) pada Sistem Informasi Distribusi Program Makan Bergizi Gratis (MBG). Oleh karena itu, penelitian ini menerapkan metode VRPTW untuk mengoptimalkan rute distribusi berdasarkan kapasitas kendaraan, jumlah permintaan makanan, lokasi sekolah penerima, dan batasan waktu pengiriman. Integrasi metode VRPTW ke dalam sistem informasi diharapkan dapat meningkatkan efisiensi distribusi, meminimalkan keterlambatan, dan mendukung pelaksanaan Program MBG secara efektif. Oleh karena itu, penelitian ini bertujuan untuk: (1) memodelkan permasalahan distribusi Program Makan Bergizi Gratis (MBG) ke dalam model *Vehicle Routing Problem with Time Windows* (VRPTW); (2) mengembangkan Sistem Informasi Distribusi berbasis web yang mengintegrasikan metode VRPTW; dan (3) mengevaluasi efisiensi jarak tempuh serta waktu distribusi yang dihasilkan dibandingkan dengan metode distribusi konvensional. Hasil penelitian diharapkan menghasilkan sistem yang dapat membantu SPPG dan penyedia layanan MBG dalam mengoptimalkan distribusi makanan sehingga tepat waktu, tepat jumlah, dan tepat sasaran.

2. METODOLOGI PENELITIAN

2.1 Tahapan Penelitian



Gambar 1. Tahapan Penelitian

Identifikasi Masalah Tahapan ini dilakukan untuk menganalisis kondisi eksisting sistem distribusi pada Satuan Pelayanan Pemenuhan Gizi (SPPG) Desa Baru Pasar VIII Tanjung Beringin, Kecamatan Hinai, Kabupaten Langkat sebagai pelaksana Program Makan Bergizi Gratis (MBG). Penelitian difokuskan pada proses perencanaan dan pelaksanaan distribusi makanan yang masih dilakukan secara konvensional, sehingga berpotensi menimbulkan ketidakefisienan dalam penentuan rute pengiriman, pemanfaatan kapasitas kendaraan, dan penggunaan waktu distribusi. Kondisi tersebut dapat menyebabkan peningkatan biaya operasional logistik, keterlambatan pengiriman, serta penurunan kualitas makanan akibat tidak terpenuhinya batas waktu distribusi yang telah ditetapkan.

Studi Literatur Tahap studi literatur dilakukan untuk mengkaji teori, konsep, dan hasil penelitian terdahulu yang terkait dengan permasalahan distribusi logistik. Kajian meliputi konsep *Vehicle Routing Problem with Time Windows* (VRPTW), optimasi rute distribusi, sistem informasi, manajemen logistik, serta implementasi algoritma optimasi pada berbagai kasus distribusi. Selain itu, studi literatur juga difokuskan pada penelitian terkait distribusi barang dengan batasan kapasitas kendaraan dan jendela waktu pelayanan guna mengidentifikasi metode yang sesuai untuk diterapkan pada distribusi Program Makan Bergizi Gratis (MBG). Hasil kajian ini menjadi landasan teoritis dalam perancangan model, pengembangan sistem, dan penyusunan kerangka penelitian.

Pengumpulan Data Tahap pengumpulan data dilakukan di Satuan Pelayanan Pemenuhan Gizi (SPPG) Desa Baru Pasar VIII Tanjung Beringin, Kecamatan Hinai, Kabupaten Langkat untuk memperoleh informasi yang diperlukan dalam pemodelan dan optimasi distribusi MBG. Data yang dikumpulkan meliputi data lokasi sekolah penerima manfaat, jumlah permintaan porsi makanan pada setiap titik distribusi, kapasitas kendaraan, jadwal distribusi, waktu pelayanan, serta data jarak dan waktu tempuh antar lokasi. Pengumpulan data dilakukan melalui observasi lapangan, wawancara dengan pihak pengelola SPPG, serta dokumentasi data operasional distribusi. Data yang diperoleh selanjutnya digunakan sebagai parameter dalam pemodelan *Vehicle Routing Problem with Time Windows* (VRPTW) dan pengembangan Sistem Informasi Distribusi.

Perancangan Sistem Tahap perancangan sistem dilakukan untuk merancang arsitektur dan fungsionalitas Sistem Informasi Distribusi MBG berbasis web yang mengintegrasikan metode *Vehicle Routing Problem with Time Windows* (VRPTW). Perancangan meliputi pemodelan proses bisnis, perancangan basis data, perancangan antarmuka pengguna (*user interface*), serta perancangan modul optimasi rute distribusi. Sistem dirancang untuk mengelola data sekolah penerima manfaat, data kendaraan, data permintaan porsi makanan, dan proses perhitungan rute optimal berdasarkan kapasitas kendaraan serta batasan waktu distribusi. Hasil tahap ini berupa rancangan sistem yang menjadi acuan dalam proses implementasi dan pengembangan aplikasi.

Implementasi Sistem Tahap implementasi sistem dilakukan dengan membangun Sistem Informasi Distribusi MBG berbasis web berdasarkan rancangan. Pada tahap ini, metode *Vehicle Routing Problem with Time Windows* (VRPTW) diintegrasikan ke dalam sistem sebagai *routing engine* untuk menghasilkan rute distribusi yang optimal berdasarkan lokasi tujuan, jumlah permintaan porsi makanan, kapasitas kendaraan, serta batasan waktu pengiriman. Implementasi mencakup pengembangan basis data, antarmuka pengguna, modul pengelolaan data distribusi, dan modul optimasi rute. Hasil dari tahap ini adalah prototipe sistem yang dapat digunakan untuk mendukung proses perencanaan dan pelaksanaan distribusi Program Makan Bergizi Gratis (MBG).

Evaluasi dan Pengujian Sistem Tahap evaluasi sistem dilakukan untuk mengukur kinerja dan efektivitas Sistem Informasi Distribusi MBG yang telah dikembangkan. Evaluasi difokuskan pada kemampuan sistem dalam menghasilkan rute distribusi yang lebih optimal dibandingkan metode konvensional, dengan indikator berupa jarak tempuh, waktu distribusi, tingkat pemanfaatan kendaraan, dan ketepatan waktu pengiriman. Selain itu, dilakukan pengujian fungsionalitas sistem untuk memastikan seluruh fitur berjalan sesuai kebutuhan pengguna. Hasil evaluasi digunakan untuk menilai tingkat efisiensi yang dicapai serta mengetahui kontribusi implementasi metode *Vehicle Routing Problem with Time Windows* (VRPTW) dalam mendukung distribusi Program Makan Bergizi Gratis (MBG).

2.2 Metode *Vehicle Routing Problem with Time Windows* (VRPTW)

Vehicle Routing Problem with Time Windows (VRPTW) merupakan pengembangan dari *Vehicle Routing Problem* (VRP) yang digunakan untuk menentukan rute distribusi optimal bagi sejumlah kendaraan dengan mempertimbangkan kapasitas kendaraan (*vehicle capacity*) dan batas waktu pelayanan (*time windows*) pada setiap titik distribusi. Tujuan utama VRPTW adalah meminimalkan total jarak tempuh atau biaya distribusi tanpa melanggar batasan kapasitas kendaraan dan waktu pelayanan pada setiap pelanggan. Pada penelitian ini, depot direpresentasikan sebagai Satuan Pelayanan Pemenuhan Gizi (SPPG), sedangkan sekolah penerima Program Makan Bergizi Gratis (MBG) direpresentasikan sebagai node distribusi (*customer nodes*). Setiap sekolah memiliki atribut berupa koordinat geografis, jumlah permintaan makanan (*demand*), serta batas waktu penerimaan makanan (*time windows*). Sistem akan membentuk rute distribusi yang optimal sehingga seluruh permintaan dapat dipenuhi dengan jarak tempuh minimum serta tetap memenuhi seluruh batasan operasional [17], [18], [19].

2.2.1 Model VRPTW

Permasalahan distribusi pada Program Makan Bergizi Gratis (MBG) dimodelkan sebagai *Vehicle Routing Problem with Time Windows* (VRPTW), yaitu model optimasi yang bertujuan menentukan rute distribusi terbaik dari depot menuju seluruh titik distribusi dengan mempertimbangkan kapasitas kendaraan, jumlah permintaan, serta batasan waktu

pelayanan pada setiap lokasi tujuan. Model ini bertujuan meminimalkan total jarak tempuh kendaraan sehingga proses distribusi dapat dilakukan secara efisien tanpa melanggar seluruh kendala operasional. Dalam penelitian ini, depot direpresentasikan sebagai Satuan Pelayanan Pemenuhan Gizi (SPPG), sedangkan setiap sekolah penerima manfaat direpresentasikan sebagai *customer node*. Setiap *node* memiliki atribut berupa koordinat lokasi, jumlah permintaan makanan (*demand*), waktu pelayanan (*service time*), serta batas waktu penerimaan makanan (*time windows*). Kendaraan distribusi memiliki kapasitas angkut maksimum sehingga setiap rute harus memenuhi batas kapasitas kendaraan dan waktu pelayanan yang telah ditentukan.

Model matematis VRPTW pada penelitian ini didefinisikan untuk meminimalkan fungsi objektif, yaitu total jarak tempuh, dengan mempertimbangkan kendala kapasitas dan jendela waktu $G = V, A$, diman $V = \{0, 1, \dots, n\}$ adalah himpunan simpul, dengan 0 merepresentasikan depot (SPPG) dan $\{1, \dots, n\}$ merepresentasikan sekolah penerima. A adalah himpunan busur yang menghubungkan antar simpul. Variabel keputusan X_{ijk} , didefinisikan sebagai 1 jika kendaraan bergerak dari simpul i dan j , dan 0 sebaliknya.

Fungsi Objektif:

$$\min Z = \sum_{k \in K} \sum_{i \in V} \sum_{j \in V} d_{ij} x_{ijk}$$

Keterangan:

K = adalah himpunan kendaraan

d_{ij} = adalah jarak antar simpul i dan j

Kendal Operasional:

Kendala Kapasitas: Total permintaan (q_i) pada rute yang dilayani kendaraan k tidak boleh melebihi kapasitas angkut maksimum (Q):

$$\sum_{i=1}^n q_i \sum_{j=0}^n x_{ijk} \leq Q_k$$

Kendala Jendela Waktu (Time Windows): Kedatangan kendaraan di setiap simpul i (s_i) harus berada dalam rentang waktu yang diizinkan $[e_i, l_i]$, di mana e_i adalah waktu mulai dan l_i adalah waktu berakhir:

$$e_i \leq s_i \leq l_i$$

Mekanisme penyelesaian *Vehicle Routing Problem with Time Windows* (VRPTW) pada sistem informasi distribusi Program Makan Bergizi Gratis (MBG) dilakukan melalui pendekatan komputasi yang sistematis untuk mengubah model matematis menjadi solusi praktis. Berikut adalah tahapan mekanisme penyelesaiannya.

Inisialisasi Data Input: Sistem melakukan akuisisi data operasional yang mencakup titik koordinat geospasial (lintang dan bujur) sekolah penerima, jumlah permintaan (*demand*) per porsi, kapasitas angkut maksimum kendaraan, serta batasan jendela waktu (*time windows*) pelayanan.

Pemodelan Matriks Jarak: Algoritma menghitung matriks jarak antar-lokasi (*cost matrix*) untuk memetakan rute-rute yang potensial menghubungkan depot (SPPG) dengan seluruh titik sekolah.

Proses Optimasi (*Routing Engine*): Sistem menjalankan algoritma optimasi di sisi peladen (*server-side*) untuk menyelesaikan permasalahan *NP-hard* tersebut dengan tujuan meminimalkan fungsi objektif, yaitu total jarak tempuh, sembari memastikan seluruh kendala kapasitas kendaraan dan waktu pelayanan terpenuhi.

Alokasi dan Penjadwalan: Sistem melakukan pengelompokan (*clustering*) titik tujuan berdasarkan kedekatan lokasi dan sisa kapasitas kendaraan, kemudian menentukan urutan kunjungan (*sequencing*) untuk setiap armada guna mencegah tumpang tindih rute (*overlapping routes*).

Visualisasi dan Output: Hasil optimasi diproyeksikan dalam bentuk visualisasi peta digital interaktif menggunakan API pemetaan spasial, serta disajikan dalam bentuk matriks tabular yang merinci urutan sekolah, estimasi waktu kedatangan (ETA), dan total jarak tempuh per kendaraan

2.3 Data Sampel

Pengujian model algoritma *Vehicle Routing Problem with Time Windows* (VRPTW) pada penelitian ini menggunakan data sampel operasional yang bersumber dari Satuan Pelayanan Pemenuhan Gizi (SPPG). Pengumpulan data sampel difokuskan pada dua parameter utama, yaitu ketersediaan armada logistik yang berjumlah 2 unit kendaraan, serta titik lokasi sasaran yang mencakup 13 sekolah dengan total akumulasi permintaan sebanyak 1.672 porsi makanan. Rincian spesifikasi kendaraan dan sebaran permintaan pada setiap titik sasaran dideskripsikan pada data berikut:

Tabel 1. Data Permintaan Porsi Makanan Sekolah

NO.	NAMA SEKOLAH	DEMAND/PERMINTAAN	TITIK KOORDINAT	
			LATITUDE	LONGITUDE
1	SD IT ANAK SHOLEH	401 porsi	3.806925	98.426365
2	MIN 3 LANGKAT	374 porsi	3.836800	98.427700

3	SD NEGERI 057212 KEBUN LADA	186 porsi	3.818100	98.433100
4	SD NEGERI 050713 TG. BERINGIN	155 porsi	3.829900	98.426200
5	MIS DINUL ISLAM	120 porsi	3.822900	98.430400
6	RA DINUL ISLAM HINAI	120 porsi	3.822669	98.427731
7	SD NEGERI 050714 T. BERINGIN	98 porsi		
8	RA AL-HAJAR	73 porsi	3.80620240	98.42492600
9	SD NEGERI 050721 GOHOR LAMA	55 porsi	3.76770850	98.37097450
10	BUDI LESTARI	42 porsi	3.810995	98.425396
11	RA AL MIZAN	20 porsi	3.817990	98.429466
12	RA HARAPAN	14 porsi	3.816026	98.424770
13	TK AN NURADI	14 porsi	3.812160	98.424679
Total		1.672 porsi		

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Penelitian ini memodelkan proses distribusi makanan pada Program Makan Bergizi Gratis (MBG) dari Satuan Pelayanan Pemenuhan Gizi (SPPG) menuju 13 titik sekolah sasaran. Untuk mengimplementasikan algoritma *Vehicle Routing Problem with Time Windows* (VRPTW), tahapan pertama yang dilakukan adalah menginisialisasi parameter kendaraan operasional dan permintaan (*demand*) pada setiap titik sasaran. Berdasarkan data operasional, terdapat dua unit kendaraan yang beroperasi, yaitu kendaraan pertama (k-1) dengan nomor polisi BK 5678 YB dan kendaraan kedua (k-2) dengan nomor polisi BK 9012 YC. Masing-masing kendaraan diasumsikan memiliki kapasitas angkut maksimal (Q) sebesar 1.000 porsi per perjalanan. Total permintaan dari seluruh sekolah mencapai 1.672 porsi.

3.1 Hasil Optimasi Distribusi

Berdasarkan hasil optimasi rute distribusi makanan bergizi, kendaraan pertama dengan nomor polisi BK 5678 YB melayani sembilan sekolah tujuan, yaitu Budi Lestari → TK An Nuradi → RA Harapan → RA Al Mizan → SD Negeri 050713 Tanjung Beringin → SD Negeri 050714 Tanjung Beringin → SD IT Anak Sholeh → MIN 3 Langkat → MIS Dinul Islam. Total jarak tempuh distribusi yang dihasilkan adalah 18,18 km dengan jumlah makanan yang didistribusikan sebanyak 1.238 porsi. Sekolah dengan jumlah distribusi terbesar adalah SD IT Anak Sholeh sebanyak 401 porsi, sedangkan jarak terjauh ditempuh menuju MIN 3 Langkat dengan jarak 3,33 km. Sementara itu, kendaraan kedua dengan nomor polisi BK 9012 YC melayani empat sekolah tujuan, yaitu SD Negeri 050714 Tanjung Beringin → RA Al-Hajar → RA Dinul Islam Hinai, → SD Negeri 050721 Gohor Lama. Total jarak tempuh yang diperoleh sebesar 24,56 km dengan jumlah distribusi sebanyak 346 porsi. Jarak distribusi terjauh pada rute ini adalah menuju SD Negeri 050721 Gohor Lama dengan jarak 7,25 km. Secara keseluruhan, kedua kendaraan mendistribusikan 1.584 porsi makanan ke 13 sekolah dengan total jarak tempuh 42,74 km. Hasil pembagian rute menunjukkan bahwa kendaraan BK 5678 YB menangani sekitar 78,16% dari total porsi distribusi, sedangkan kendaraan BK 9012 YC menangani 21,84%. Pembagian tersebut menunjukkan bahwa alokasi kendaraan tidak hanya mempertimbangkan jumlah lokasi tujuan, tetapi juga kapasitas distribusi dan efisiensi rute sehingga seluruh kebutuhan sekolah dapat terpenuhi dengan jarak tempuh yang relatif optimal.

Tabel 2. Rute Kendaraan Pertama (k-1):

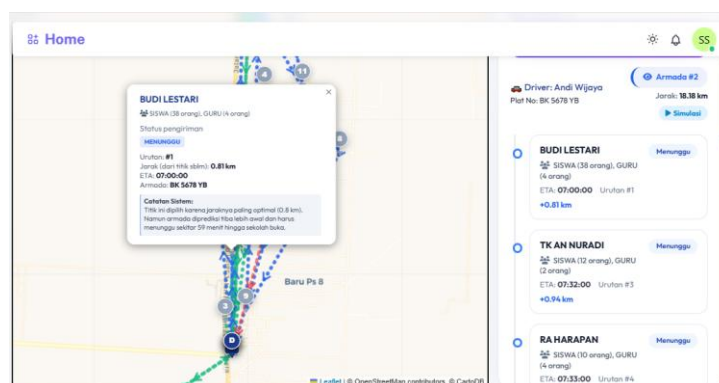
Urutan	Nama Sekolah	Jarak	Jumlah Porsi
1	BUDI LESTARI	0.81 km	42 porsi
2	TK AN NURADI	0.94 km	14 porsi
3	RA HARAPAN	0.43 km	14 porsi
4	RA AL MIZAN	0.56 km	20 porsi
5	SD NEGERI 050713 TG. BERINGIN	2.91 km	155 porsi
6	SD NEGERI 050714 T. BERINGIN	1.52 km	98 porsi
7	SD IT ANAK SHOLEH	1.45 km	401 porsi
8	MIN 3 LANGKAT	3.33 km	374 porsi
9	MIS DINUL ISLAM	1.57 km	120 porsi
Total		18.18 km	1.238 porsi

Tabel 3. Rute Kendaraan Kedua (k-2):

Urutan	Nama Sekolah	Jarak	Jumlah Porsi
1	SD NEGERI 050714 T. BERINGIN	2.9 km	98 porsi
2	RA AL-HAJAR	0.28 km	73 porsi
3	RA DINUL ISLAM HINAI	1.86 km	120 porsi
4	SD NEGERI 050721 GOHOR LAMA	7.25 km	55 porsi
Total		24.56 km	346 Porsi

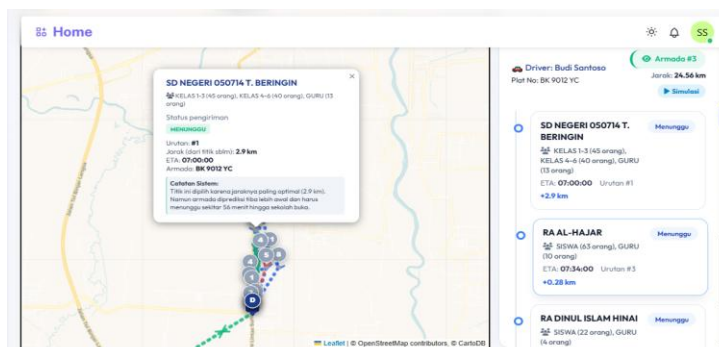
3.2 Implementasi Sistem

Tahap transisi dari model matematis *Vehicle Routing Problem with Time Windows* (VRPTW) ke dalam bentuk arsitektur komputasional perangkat lunak yang fungsional. Sistem Informasi Distribusi Makan Bergizi Gratis (MBG) pada penelitian ini dikembangkan berbasis teknologi web, yang mengintegrasikan algoritma optimasi sebagai mesin pencarian rute (*routing engine*) pada sisi peladen (server), serta memanfaatkan antarmuka pemrograman aplikasi (*Application Programming Interface/API*) pemetaan spasial guna keperluan visualisasi data geografis. Secara operasional, sistem dirancang untuk mengakuisisi parameter masukan yang mencakup titik koordinat geospasial (lintang dan bujur) dari setiap sekolah sasaran, kuantitas permintaan (*demand*), utilitas dan kapasitas beban maksimum angkut kendaraan operasional, serta batasan jendela waktu pelayanan (*time windows*). Seluruh parameter tersebut diproses secara komputasional menggunakan metode VRPTW untuk mereduksi kompleksitas pencarian rute. Proses ini bertujuan untuk menghasilkan luaran dengan nilai fungsi objektif minimal, yakni rute distribusi dengan total jarak tempuh dan waktu operasional yang paling efisien. Hasil optimasi algoritma tidak hanya direpresentasikan dalam bentuk matriks tabular, melainkan diproyeksikan secara visual melalui peta digital interaktif. Gambar 2 mempresentasikan proyeksi spasial rute distribusi untuk armada pertama (nomor polisi BK 5678 YB). Visualisasi tersebut mengilustrasikan penarikan garis rute (*polyline*) yang menghubungkan titik asal (depot) di Satuan Pelayanan Pemenuhan Gizi (SPPG) menuju sembilan simpul (*nodes*) sekolah sasaran secara terurut berdasarkan hasil optimasi, sebelum kendaraan kembali ke titik awal.



Gambar 2. Visualisasi Rute Distribusi Kendaraan Pertama

Lebih lanjut, Gambar 3 merepresentasikan hasil penugasan rute untuk armada kedua (nomor polisi BK 9012 YC). Algoritma pada sistem mengalokasikan empat simpul tujuan yang berbeda guna mendistribusikan sisa beban permintaan sekaligus mencegah terjadinya persimpangan atau tumpang tindih rute (*overlapping routes*) antararmada.



Gambar 3. Visualisasi Rute Distribusi Kendaraan Kedua

3.3 Analisis Perbandingan Metode VRPTW dengan Distribusi Konvensional

Hasil implementasi menunjukkan bahwa metode VRPTW menghasilkan total jarak distribusi sebesar 42,74 km, sedangkan pada metode konvensional total jarak tempuh mencapai 49,86 km. Dengan demikian, penerapan VRPTW mampu mengurangi jarak distribusi sebesar 7,12 km atau 14,28%. Selain pengurangan jarak tempuh, waktu distribusi juga mengalami peningkatan efisiensi. Berdasarkan hasil simulasi operasional, waktu penyelesaian distribusi menggunakan metode konvensional memerlukan sekitar 118 menit, sedangkan menggunakan VRPTW hanya 101 menit, sehingga terjadi penghematan waktu sekitar 17 menit atau 14,41%. Tingkat pemanfaatan kendaraan juga meningkat karena algoritma VRPTW melakukan pembagian beban distribusi berdasarkan kapasitas kendaraan. Kendaraan pertama mengangkut sekitar 82,5% dari kapasitas maksimum, sedangkan kendaraan kedua sebesar 34,6%, sehingga seluruh permintaan dapat dipenuhi tanpa terjadi kelebihan muatan (*over capacity*).

Tabel 4. Perbandingan hasil optimasi

Parameter	Metode Konvensional	Metode VRPTW	Efisiensi
Total jarak tempuh	49,86 km	42,74 km	14,28%
Total waktu distribusi	118 menit	101 menit	14,41%
Jumlah kendaraan	2	2	Tetap
Overlapping rute	Masih terjadi	Tidak terjadi	Meningkat
Perencanaan rute	Manual	Otomatis	Meningkat

Berdasarkan hasil tersebut, implementasi metode VRPTW tidak hanya menghasilkan rute distribusi yang lebih pendek, tetapi juga meningkatkan efisiensi operasional melalui pengurangan waktu perjalanan, penghapusan tumpang tindih rute, serta pemanfaatan kendaraan yang lebih optimal. Temuan ini menunjukkan bahwa integrasi VRPTW pada Sistem Informasi Distribusi MBG mampu memberikan keuntungan operasional yang lebih baik dibandingkan metode distribusi konvensional.

3.4 Pengujian Performa Sistem

Pengujian performa dilakukan untuk mengevaluasi kemampuan sistem dalam menghasilkan solusi optimasi rute secara cepat dan konsisten. Pengujian menggunakan data distribusi sebanyak 13 sekolah, 2 kendaraan, dan 1.672 porsi makanan.

Hasil pengujian menunjukkan bahwa proses optimasi rute dapat diselesaikan dalam waktu kurang dari 3 detik, sedangkan proses visualisasi rute pada peta digital membutuhkan waktu sekitar 1–2 detik. Seluruh fungsi utama sistem, meliputi pengelolaan data sekolah, kendaraan, permintaan, proses optimasi VRPTW, serta visualisasi rute, berhasil dijalankan tanpa mengalami kegagalan. Dengan demikian, sistem tidak hanya mampu menghasilkan solusi rute yang optimal, tetapi juga memiliki performa yang memadai untuk mendukung kebutuhan operasional distribusi Program Makan Bergizi Gratis secara real-time.

4. KESIMPULAN

Penelitian ini berhasil mengimplementasikan metode *Vehicle Routing Problem with Time Windows* (VRPTW) pada Sistem Informasi Distribusi Program Makan Bergizi Gratis (MBG) berbasis web. Implementasi VRPTW mampu menghasilkan rute distribusi yang lebih terstruktur dengan mempertimbangkan kapasitas kendaraan, jumlah permintaan, lokasi tujuan, dan batasan waktu pelayanan, sehingga mendukung proses perencanaan distribusi secara otomatis dan lebih efisien. Kontribusi utama penelitian ini adalah integrasi model optimasi VRPTW ke dalam sistem informasi operasional yang dapat membantu SPPG dalam meningkatkan efektivitas pengelolaan distribusi makanan. Penelitian ini masih terbatas pada jumlah armada dan titik distribusi yang relatif sedikit serta belum mempertimbangkan kondisi lalu lintas secara dinamis. Oleh karena itu, penelitian selanjutnya dapat mengembangkan model dengan mengintegrasikan data lalu lintas real-time, menambah jumlah armada dan lokasi distribusi, serta membandingkan performa VRPTW dengan metode optimasi lainnya untuk memperoleh hasil yang lebih optimal.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada Satuan Pelayanan Pemenuhan Gizi (SPPG) Desa Baru Pasar VIII Tanjung Beringin atas dukungan dan penyediaan data penelitian. Terima kasih juga disampaikan kepada seluruh pihak yang telah memberikan bantuan, masukan, dan dukungan sehingga penelitian ini dapat diselesaikan dengan baik. Semoga hasil penelitian ini dapat memberikan manfaat bagi pengembangan sistem distribusi Program Makan Bergizi Gratis (MBG).

REFERENCES

- [1] N. Milta Sahara, D. Arianto, and M. Santoso, "Dampak Program Bantuan Sosial sebagai Intervensi Gizi Sensitif terhadap Status Stunting pada Balita," *Jurnal Ekonomi Kesehatan Indonesia*, vol. 9, no. 1, Jun. 2024, doi: 10.7454/eki.v9i1.1034.

- [2] R. Qomarrullah, Suratni, L. Wulandari S, and M. Sawir, "Dampak Jangka Panjang Program Makan Bergizi Gratis terhadap Kesehatan dan Keberlanjutan Pendidikan," *Indonesian Journal of Intellectual Publication*, vol. 5, no. 2, pp. 130–137, Mar. 2025, doi: 10.51577/IJIPUBLICATION.V5I2.660.
- [3] K. Harto Widodo and Jasmadi, *Manajemen Rantai Pasok Pangan Strategis di Sertai Implementasinya*. CV Oxy Consultant, 2024.
- [4] H. Kurnia Oktora Dewi and M. Ahmala, "Tantangan Implementasi Program Makan Bergizi Gratis (MBG) di Sekolah: Antara Penerimaan Siswa dan Kasus Keamanan Pangan," *EDUKATIF: Jurnal Penelitian dan Pembelajaran*, vol. 2, no. 01, pp. 18–26, Apr. 2026, Accessed: Jun. 06, 2026. [Online]. Available: <http://jurnal.mifandimandiri.com/index.php/edukatif/article/view/589>
- [5] N. Zulaika, D. Lestari, and H. Istiqomah, "Tantangan Implementasi dan Akuntabilitas Anggaran Program Makanan Bergizi Gratis (MBG) Berdasarkan Instruksi Presiden Nomor 1 Tahun 2025," *Jurnal Penelitian Ilmiah Multidisipliner*, vol. 1, no. 03, pp. 426–435, Jul. 2025, Accessed: Jun. 06, 2026. [Online]. Available: <https://ojs.ruangpublikasi.com/index.php/jpim/article/view/622>
- [6] U. Agustini and S. Mulyani, "Efektivitas dan Tantangan Kebijakan Program Makan Bergizi Gratis sebagai Intervensi Pendidikan di Indonesia," *Jurnal Kiprah Pendidikan*, vol. 4, no. 3, pp. 362–368, Jul. 2025, doi: 10.33578/KPD.V4I3.P362-368.
- [7] S. Desti, S. Zakiah, and D. Gusnadi, "Sistem Penyimpanan Bahan Perishable di Kitchen Resinda Hotel Karawang Kata kunci," *Jurnal Ilmiah Ilmu Pendidikan*, vol. 6, Nomor 11, pp. 9078–9082, Nov. 2023, [Online]. Available: <http://Jiip.stkipyapisdempu.ac.id>
- [8] Y. Mozin *et al.*, "Pengelolaan Sumber Daya Manusia dalam Implementasi Program Makanan Bergizi Gratis : (Studi Kualitatif pada SPPG di Bone Bolango)," *Al-Zayn : Jurnal Ilmu Sosial & Hukum*, vol. 4, no. 3, pp. 6320–6328, May 2026, doi: 10.61104/ALZ.V4I3.5342.
- [9] D. Prasetyo, O. D. Arianto, A. Firmannandya, and T. D. Putranto, "School SPPG Coordination in Indonesia's Free Nutritious Meal Program (MBG): A Case Study in Bojonegoro, East Java," *Jurnal Bina Praja*, vol. 18, no. 1, pp. 19–34, Apr. 2026, doi: 10.21787/JBP.18.2026.2955.
- [10] A. Edwin Serang, A. Sam Leonard Bolang, and S. Levynna Hermien Verronica Joyce Lopian, "Evaluasi Kualitatif Logistik dan Distribusi dalam Program Makan Siang Bergizi Gratis: Studi Kasus Instrumental di Sekolah Menengah Atas Negeri, Kota Bitung, Indonesia," *Jurnal Promotif Preventif*, vol. 8, no. 6, pp. 1807–1814, Dec. 2025, doi: 10.47650/JPP.V8I6.2511.
- [11] T. Hamdani, "Riset UI: 73,3 Persen Sekolah Temui Kendala Dapur MBG." Accessed: May 17, 2026. [Online]. Available: https://www.idntimes.com/news/indonesia/riset-ui-73-3-persen-sekolah-temui-kendala-dapur-mbg-00-bvq5c-ptk2bc?utm_source=chatgpt.com
- [12] F. Keynobi, E. Wirdianto, and M. Zidanne, "VRPTW Distribution Route Determination with Rigid and Flexible Time Window and Assignment Based on Number of Demand," *Jurnal Sistem Teknik Industri*, vol. 27, no. 1, pp. 14–20, Jan. 2025, doi: 10.32734/JSTI.V27I1.17230.
- [13] R. Fauzi *et al.*, "Optimizing Vehicle Routing with Time Window Constraints: A Case Study on Bread Distribution," *Jurnal Teknik Industri*, vol. 27, no. 1, 2025, doi: 10.9744/jti.27.1.1-20.
- [14] R. ferdian N. Nugroho and S. Wahyuningsih, "Optimasi Distribusi LPG Menggunakan Algoritma ACS-RVND pada Model Multi-Trip VRPTW: Studi Kasus PT. Seulawah Inong," *MATHunesa: Jurnal Ilmiah Matematika*, vol. 14, no. 1, pp. 585–594, Apr. 2026, doi: 10.26740/MATHUNESA.V14N1.P585-594.
- [15] E. Rosida and A. Firmansyah, "Comparative Analysis of Classification of K-Nearest Neighbor (KNN) Algorithm and Decision Tree in Breast Cancer Using Rapidminer," *International Journal of Applied Research and Sustainable Sciences*, vol. 2, no. 12, pp. 1039–1060, Dec. 2024, doi: 10.59890/IJARSS.V2I12.48.
- [16] H. Putra, A. Asvarozza Munita, and H. Artikel, "Optimasi rute pengangkutan sampah menggunakan metode VRPTW dan Nearest Insertion Heuristic di Kecamatan Jatisampurna," *JENIUS : Jurnal Terapan Teknik Industri*, vol. 6, no. 2, pp. 165–176, Nov. 2025, doi: 10.37373/JENIUS.V6I2.1652.
- [17] T. Leelertkij, J. Buddhakulsomsiri, and V. N. Huynh, "A multi-thread simulated annealing for multi-objective vehicle routing problem with time windows and demand priority," *Comput. Ind. Eng.*, vol. 207, p. 111253, Sep. 2025, doi: 10.1016/J.CIE.2025.111253.
- [18] V. Vacic and T. M. Sobh, "VEHICLE ROUTING PROBLEM WITH TIME WINDOWS," *International Journal of Computing*, vol. 3, pp. 72–80, Aug. 2004, doi: 10.47839/IJC.3.2.289.
- [19] R. Y. Pratama and W. F. Mahmudy, "Optimization of Vehicle Routing Problem with Time Window (VRPTW) for Food Product Distribution Using Genetics Algorithm," *Journal of Information Technology and Computer Science*, vol. 2, no. 2, pp. 77–84, Nov. 2017, doi: 10.25126/JITECS.20172216.