

Pemodelan Graf Berbobot untuk Penentuan Prioritas Jarak dan Estimasi Waktu Distribusi MBG dari SPPG ke Sekolah Mitra di Medan Tuntungan Menggunakan Algoritma Dijkstra

Evelyn Keisha Silalahi^{1*}, Alvin Hafiz², Suvriadi Panggabean³

¹ Ilmu Komputer, FMIPA, Universitas Negeri Medan, Medan

² Ilmu Komputer, FMIPA, Universitas Negeri Medan, Medan

³ Matematika, FMIPA, Universitas Negeri Medan, Medan

evelynsilalahi2208@gmail.com

Diterima:09-06-2026; Direvisi:17-06-2026; Dipublikasi: 29-06-2026

Abstract

The Free Nutritious Meal (MBG) Program requires a timely and efficient distribution system from the Nutrition Fulfillment Service Unit (SPPG) to partner schools to maintain food quality and warmth. This study aims to model a weighted graph to determine distance priority and estimate the distribution time of MBG from SPPG Simpang Selayang to 10 elementary schools in Medan Tuntungan District. A quantitative method was employed by implementing Dijkstra's Algorithm on the actual road network based on *OpenStreetMap* (OSM). Location coordinate data was collected via web scraping and validated using an administrative bounding box. To provide a more realistic operational overview, sensitivity analysis was conducted across three average speed scenarios: 20, 30, and 40 km/h. Computational results indicate that SD NEGERI 065012 is the first distribution priority with the shortest route distance (1.219 km), while SD N 060972 is the last priority (5.763 km). Under the moderate speed scenario (30 km/h), the average distribution travel time to all schools is 6.4 minutes. This study concludes that the application of Dijkstra's Algorithm based on the OSM road network is more effective and realistic in optimizing MBG distribution routes compared to straight-line (*Haversine*) distance calculations, thereby serving as a reliable reference for efficient logistical decision-making for MBG program managers.

Keywords: dijkstra's algorithm; weighted graph; logistics distribution; free nutritious meal; *openstreetmap*

Abstrak

Program Makan Bergizi Gratis (MBG) membutuhkan sistem distribusi yang tepat waktu dan efisien dari Satuan Pelayanan Pemenuhan Gizi (SPPG) ke sekolah-sekolah mitra guna menjaga kualitas dan kehangatan makanan. Penelitian ini bertujuan untuk memodelkan graf berbobot dalam menentukan prioritas jarak dan mengestimasi waktu distribusi MBG dari SPPG Simpang Selayang ke 10 sekolah dasar di Kecamatan Medan Tuntungan. Metode kuantitatif diterapkan dengan mengimplementasikan Algoritma Dijkstra pada jaringan jalan nyata berbasis *OpenStreetMap* (OSM). Data koordinat lokasi dikumpulkan melalui *web scraping* dan divalidasi menggunakan *bounding box* administratif. Untuk memberikan gambaran operasional yang lebih realistis, analisis sensitivitas dilakukan pada tiga skenario kecepatan rata-rata, yaitu 20, 30, dan 40 km/jam. Hasil komputasi menunjukkan bahwa SD NEGERI 065012 menjadi prioritas distribusi pertama dengan jarak rute terpendek (1,219 km), sedangkan SD N 060972 berada pada prioritas terakhir (5,763 km). Pada skenario kecepatan moderat (30 km/jam), rata-rata waktu tempuh distribusi ke seluruh sekolah adalah 6,4 menit. Penelitian ini menyimpulkan bahwa penerapan Algoritma Dijkstra berbasis jaringan jalan OSM terbukti lebih efektif dan realistis dalam mengoptimalkan rute distribusi dibandingkan perhitungan jarak garis lurus (*Haversine*), sehingga dapat menjadi acuan pengambilan keputusan logistik yang efisien bagi pengelola program MBG.

Kata Kunci: algoritma dijkstra; graf berbobot; distribusi logistik; makan bergizi gratis; *openstreetmap*

1. PENDAHULUAN

Program Makan Bergizi Gratis (MBG) merupakan program strategis pemerintah untuk meningkatkan kualitas gizi peserta didik melalui penyediaan makanan sehat secara merata (Reza, 2025). Program ini merupakan strategi holistik yang dirancang untuk mengoptimalkan kualitas sumber daya manusia sejak fase awal pertumbuhan (Wijayanti et al., 2025). Intervensi gizi berbasis sekolah terbukti efektif dalam menangani malnutrisi anak, meningkatkan kehadiran siswa, dan mengoptimalkan perkembangan kognitif (Nissa et al., 2025)(Herdiana, 2025). Asupan gizi yang memadai juga mendorong pertumbuhan fisik optimal yang memperkuat keterampilan motorik serta interaksi sosial di lingkungan pendidikan (Tambunan et al., 2025)(Rahmah et al., 2025). Namun, disparitas akses terhadap makanan bergizi masih menjadi tantangan struktural di Indonesia yang berpotensi menurunkan mutu pendidikan nasional (Qomarrullah et al., 2025).

Dalam implementasinya, distribusi makanan dari Satuan Pelayanan Pemenuhan Gizi (SPPG) menuju sekolah menjadi faktor penentu keberhasilan program, di mana ketepatan waktu, efisiensi jarak, dan pengendalian biaya operasional menjadi tantangan utama (Nasir et al., 2026)(Kaylla et al., 2026). Inefisiensi distribusi logistik merupakan permasalahan universal yang menyebabkan rute tidak optimal, pemborosan bahan bakar, dan peningkatan biaya operasional (Baidawi et al., 2025)(Oetomo et al., 2022)(Aziizah et al., 2026). Kondisi ini menuntut adanya sistem distribusi yang mampu menjamin makanan diterima dalam kondisi layak dan tepat waktu.

Permasalahan distribusi dapat dimodelkan menggunakan teori graf berbobot, dengan simpul merepresentasikan lokasi dan sisi merepresentasikan jarak atau waktu tempuh antar lokasi (Oktaviani et al., 2025)(Ariyani et al., 2026). Dalam konteks optimasi logistik, Algoritma Dijkstra menjadi metode yang paling banyak diadopsi untuk menyelesaikan persoalan lintasan terpendek pada graf berbobot positif dengan prinsip *greedy* (Silitonga et al., 2025)(Safutra et al., 2024)(Wahyudi et al., 2024). Algoritma ini terbukti memberikan solusi optimal dan efisien dalam berbagai kasus seperti navigasi digital, rantai pasok logistik, transportasi, hingga manajemen jaringan (Jaiman et al., 2025)(Hakim et al., 2022)(Rufus et al., 2024). Di Kecamatan Medan Tuntungan yang memiliki penyebaran sekolah luas dan kondisi jalan beragam, pendekatan ini diperlukan untuk mencegah keterlambatan distribusi yang berpotensi menurunkan kualitas makanan, sehingga pemodelan graf berbobot berbasis Algoritma Dijkstra dipilih untuk menghasilkan solusi jalur optimal (SP & Sembiring, 2024).

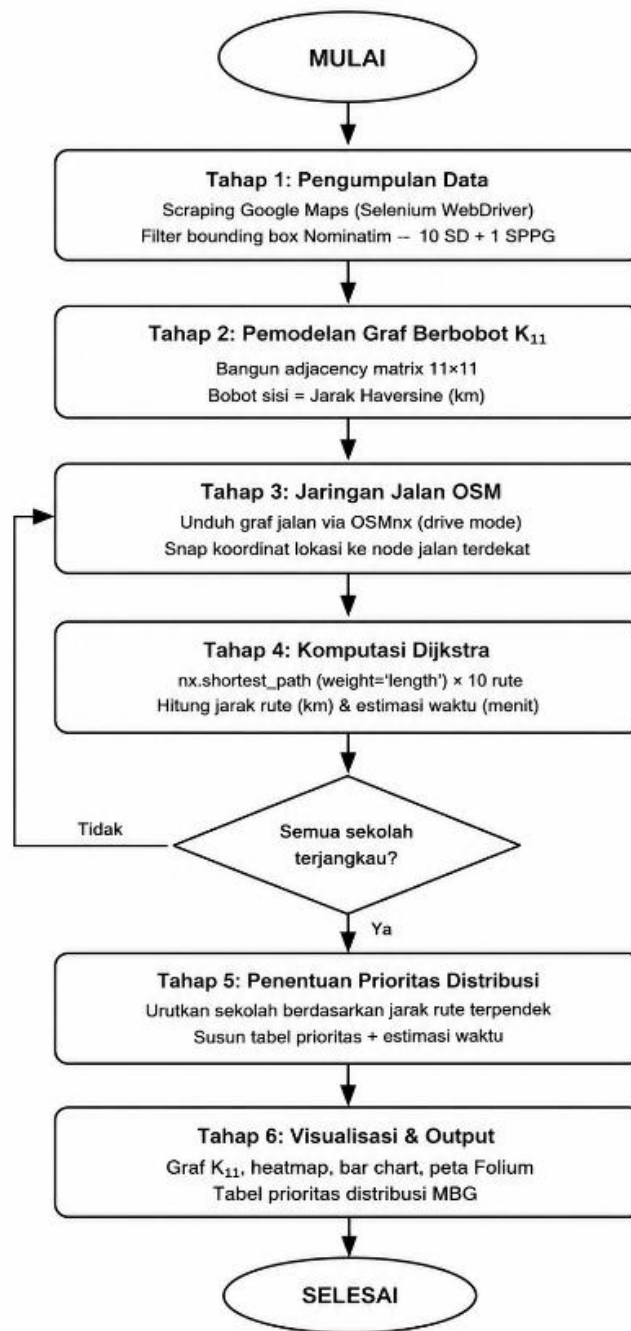
Beberapa penelitian terdahulu telah membuktikan efektivitas Algoritma Dijkstra dalam berbagai konteks distribusi. (Maulana et al., 2024) menerapkan algoritma ini

untuk distribusi darah dari PMI ke rumah sakit dan membuktikan hasilnya lebih optimal dibandingkan rute manual. (Cahya et al., 2026) menggunakan Dijkstra untuk distribusi barang logistik dan menghasilkan rute yang lebih efisien, namun belum mempertimbangkan estimasi waktu dan prioritas distribusi. Tinjauan sistematis oleh (Amin & Hendrik, 2025) menunjukkan bahwa sebagian besar penelitian masih berorientasi pada efisiensi jarak semata tanpa mengintegrasikan prioritas layanan. Sementara itu, (Serang et al., 2025) menemukan bahwa keterlambatan distribusi MBG memengaruhi kualitas makanan siswa, tetapi belum menawarkan model komputasional untuk optimasi distribusi.

Dari kajian literatur tersebut, terlihat bahwa penelitian yang mengintegrasikan estimasi waktu distribusi dan prioritas tujuan layanan dalam konteks MBG masih sangat terbatas. Oleh karena itu, penelitian ini mengusulkan pemodelan graf berbobot untuk menentukan prioritas jarak dan estimasi waktu distribusi MBG dari SPPG ke sekolah mitra di Kecamatan Medan Tuntungan menggunakan Algoritma Dijkstra, sehingga dapat mengisi kesenjangan penelitian melalui pendekatan matematika diskrit yang mempertimbangkan jarak terpendek sekaligus estimasi waktu distribusi sebagai dasar pengambilan keputusan logistik yang lebih efektif.

2. METODE PENELITIAN

Penelitian ini menggunakan metode kuantitatif dengan pendekatan pemodelan matematis dan simulasi optimasi berbasis teori graf. Fokus utama adalah pengembangan model graf berbobot untuk menentukan prioritas jarak dan estimasi waktu distribusi MBG, yang diselesaikan secara komputasional menggunakan Algoritma Dijkstra. Pendekatan ini mengandalkan data numerik berupa jarak riil antarlokasi, estimasi durasi perjalanan, serta bobot pada setiap ruas jalan. Model yang dihasilkan diimplementasikan langsung pada skenario distribusi logistik nyata dari SPPG menuju sekolah-sekolah sasaran di Kecamatan Medan Tuntungan.



Gambar 1. Alur penelitian

2.1. Pengumpulan Data

Data lokasi dikumpulkan melalui *web scraping* menggunakan Selenium WebDriver pada Google Maps dengan kata kunci "Sekolah Dasar Medan Tuntungan" dan "SPPG Medan Tuntungan". Skrip mengekstrak nama tempat dan koordinat geografis (lintang dan bujur) dari URL Google Maps menggunakan ekspresi reguler. Koordinat hasil

scraping kemudian difilter menggunakan *bounding box* administratif Kecamatan Medan Tuntungan dari geocoder Nominatim (OpenStreetMap) agar hanya lokasi dalam batas kecamatan yang dimasukkan ke dalam model.

2.2. Pemodelan Graf Berbobot

Seluruh simpul (1 SPPG + 10 sekolah) dimodelkan sebagai graf berbobot lengkap K_{11} dengan 11 simpul dan 55 sisi. Secara formal, graf didefinisikan sebagai berikut:

$$V = \{v_0, v_1, v_2, \dots, v_{10}\} \quad (1)$$

$$E = \{(v_i, v_j) \mid i \neq j, i, j \in \{0, 1, \dots, 10\}\} \quad (2)$$

$$|E| = \frac{n(n-1)}{2} = 11 \times \frac{10}{2} = 55 \quad (3)$$

Dengan v_0 mewakili SPPG Simpang Selayang dan v_1 hingga v_{10} mewakili sepuluh sekolah mitra. Bobot setiap sisi dihitung menggunakan formula jarak Haversine:

$$w(v_i, v_j) = 2R \times \arcsin(\sqrt{(\sin^2(\frac{\Delta\varphi}{2}) + \cos(\varphi_i)\cos(\varphi_j)\sin^2(\frac{\Delta\lambda}{2}))) \quad (4)$$

Di mana $R = 6371,0$ km adalah jari-jari rata-rata bumi, $\Delta\varphi = \varphi_j - \varphi_i$ adalah selisih lintang dalam radian, dan $\Delta\lambda = \lambda_j - \lambda_i$ adalah selisih bujur dalam radian. Bobot yang dihasilkan bersifat simetris sehingga $w(v_i, v_j) = w(v_j, v_i)$. Matriks ketetanggaan (adjacency matrix) berukuran 11×11 dibangun dengan diagonal bernilai nol dan elemen di luar diagonal berisi nilai jarak Haversine antar pasang simpul.

2.3. Implementasi Algoritma Dijkstra pada Graf Jalan OSM

Untuk memperoleh jarak rute yang lebih representatif dibandingkan Haversine, jaringan jalan aktual Kecamatan Medan Tuntungan diunduh dari OpenStreetMap menggunakan pustaka OSMnx dengan tipe jaringan "drive". Setiap simpul lokasi di-*snap* ke *node* jalan terdekat menggunakan fungsi *nearest_nodes*. Algoritma Dijkstra dijalankan 10 kali (satu kali untuk setiap pasangan SPPG ke Sekolah.) menggunakan implementasi NetworkX dengan parameter `weight='length'`. Formula iterasi relaksasi Dijkstra yang digunakan adalah:

$$d[v] = \min(d[v], d[u] + w(u, v)) \quad (5)$$

Dengan $d[v]$ perkiraan jarak terpendek dari sumber ke simpul v , $d[u]$ jarak terpendek yang telah dikonfirmasi ke simpul u , dan $w(u, v)$ bobot sisi dari u ke v .

Estimasi waktu distribusi dihitung berdasarkan estimasi waktu berbasis kecepatan rata-rata konstan. Model ini bersifat deterministik sederhana, sehingga secara eksplisit belum merepresentasikan dinamika lalu lintas perkotaan seperti waktu berhenti,

durasi bongkar muat, penundaan sinyal lalu lintas, kemacetan jam sibuk, atau variasi kecepatan per segmen jalan. Meskipun demikian, pendekatan ini tetap valid sebagai *baseline* operasional untuk penyusunan prioritas pengiriman berbasis jarak. Untuk meningkatkan ketahanan analisis dan mengakomodasi ketidakpastian kondisi jalan nyata, penelitian ini menerapkan analisis sensitivitas dengan menguji tiga skenario kecepatan rata-rata yaitu $v = 20$ km/jam (kondisi padat/low-speed), $v = 30$ km/jam (kondisi moderat/average), dan $v = 40$ km/jam (kondisi lancar/free-flow). Rumus estimasi waktu yang digunakan untuk setiap skenario kecepatan adalah:

$$t = \left(\frac{d_{route}^{km}}{v}\right) \times 60 \text{ menit} \quad (6)$$

Dengan t_v adalah estimasi waktu dalam menit untuk kecepatan v , dan d_{route}^{km} adalah jarak rute jalan nyata dalam kilometer. Nilai 30 km/jam dijadikan sebagai skenario utama yang merepresentasikan kecepatan rata-rata kendaraan di kawasan pemukiman dan jalan lokal Kecamatan Medan Tuntungan, sementara skenario 20 dan 40 km/jam berfungsi sebagai batas bawah dan atas untuk mengevaluasi *robustness* jadwal distribusi serta memberikan rentang waktu operasional yang lebih realistis bagi pengelola SPPG.

2.4. Penentuan Prioritas Distribusi

Prioritas distribusi MBG disusun berdasarkan pengurutan nilai jarak rute nyata dari Algoritma Dijkstra. Sekolah dengan jarak terpendek memperoleh prioritas pertama (#1), dan sekolah terjauh memperoleh prioritas terakhir. Pendekatan ini merepresentasikan skenario 10 perjalanan individual terpisah dari SPPG, sehingga sekolah terdekat menerima distribusi lebih awal untuk menjaga kualitas makanan. Seluruh pemrosesan data dan komputasi diimplementasikan dalam Python pada lingkungan Google Colab.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1. Dataset Simpul Graf SPPG dan Sekolah Mitra

Proses scraping menggunakan Selenium WebDriver berhasil mengidentifikasi titik-titik lokasi yang tersebar di Kecamatan Medan Tuntungan. Setelah dilakukan filtering berbasis bounding box Nominatim, diperoleh 10 titik Sekolah Dasar dan 1 titik SPPG. Tabel 1 yang memperlihatkan tabel simpul graf beserta koordinat masing-masing lokasi.

Tabel 1. Data simpul graf SPPG dan 10 sekolah dasar mitra

ID	Nama Lokasi	Lintang	Bujur
SPPG	SPPG Simpang Selayang 1 Medan Tuntungan Kota Medan	3.529915	98.620217

S01	Siti Hajar Primary School	3.526687	98.623978
S02	SD Negeri	3.541220	98.616366
S03	SD NEGERI 065012	3.528178	98.628816
S04	Sekolah Dasar Islam Terpadu Al-Hijrah	3.530617	98.614329
S05	SD NEGERI 067246	3.542984	98.603758
S06	SD N 060972	3.497746	98.648324
S07	Sekolah Alam Bukit Hijau Medan	3.497599	98.605573
S08	SD Negeri 068343	3.508686	98.629291
S09	SD N 068332	3.515817	98.631322
S10	SD Muhammadiyah 34	3.518860	98.632863

Data koordinat pada Tabel 1 menjadi input utama dalam pembangunan graf berbobot K_{11} untuk penerapan Algoritma Dijkstra guna menghitung jarak rute dan estimasi waktu distribusi dari SPPG ke setiap sekolah mitra.

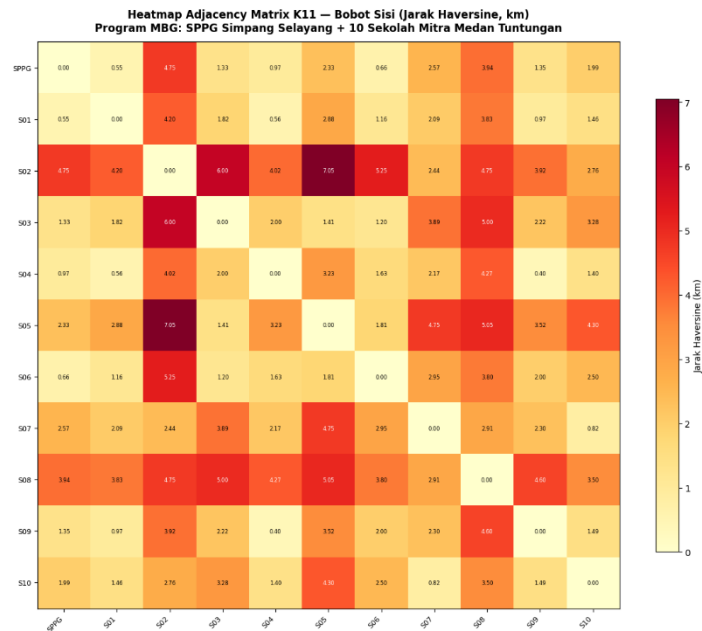
3.2. Matriks Ketetangaan dan Visualisasi Graf Berbobot

Tabel 2. Adjacency matrix K_{11} berbobot

	SPP G (km)	S01 (km)	S02 (km)	S03 (km)	S04 (km)	S05 (km)	S06 (km)	S07 (km)	S08 (km)	S09 (km)	S10 (km)
SPP G (km)	0.00 0	0.55 1	1.32 8	0.97 4	0.65 8	2.33 4	4.74 6	3.94 4	2.56 6	1.99 4	1.86 6
S01 (km)	0.55 1	0.00 0	1.82 4	0.56 2	1.15 7	2.88 4	4.20 2	3.82 5	2.08 7	1.45 8	1.31 5
S02 (km)	1.32 8	1.82 4	0.00 0	2.00 3	1.20 1	1.41 3	5.99 6	4.99 6	3.89 2	3.27 6	3.08 8
S03 (km)	0.97 4	0.56 2	2.00 3	0.00 0	1.63 1	3.23 2	4.01 7	4.26 8	2.16 8	1.40 2	1.12 9
S04 (km)	0.65 8	1.15 7	1.20 1	1.63 1	0.00 0	1.80 8	5.25 3	3.79 8	2.95 0	2.50 3	2.43 7
S05 (km)	2.33 4	2.88 4	1.41 3	3.23 2	1.80 8	0.00 0	7.05 5	5.05 1	4.75 1	4.29 9	4.19 9
S06 (km)	4.74 6	4.20 2	5.99 6	4.01 7	5.25 3	7.05 5	0.00 0	4.74 5	2.43 8	2.75 6	2.90 8
S07 (km)	3.94 4	3.82 5	4.99 6	4.26 8	3.79 8	5.05 1	4.74 5	0.00 0	2.90 7	3.50 3	3.84 2
S08 (km)	2.56 6	2.08 7	3.89 2	2.16 8	2.95 0	4.75 1	2.43 8	2.90 7	0.00 0	0.82 4	1.19 9
S09 (km)	1.99 4	1.45 8	3.27 6	1.40 2	2.50 3	4.29 9	2.75 6	3.50 3	0.82 4	0.00 0	0.37 9
S10 (km)	0.65 8	1.20 1	1.15 7	1.63 1	1.80 8	5.25 3	1.93 4	2.44 5	2.43 7	1.53 2	0.00 0

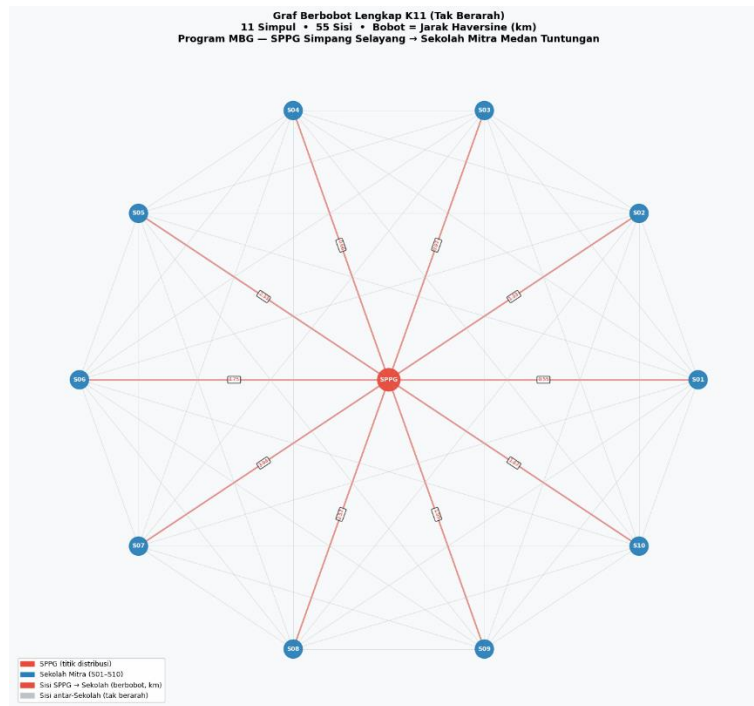
Matriks ini merepresentasikan jarak Haversine (km) antar-11 simpul (1 SPPG dan 10 SD di Medan Tuntungan) berdasarkan koordinat geografis. Bersifat simetris dengan

diagonal bernilai nol, matriks ini digunakan untuk analisis spasial dan visualisasi graf K_{11} .



Gambar 2. Heatmap adjacency matrix K_{11}

Heatmap ini menampilkan jarak Haversine (km) antar-11 simpul (1 SPPG dan 10 SD di Medan Tuntungan) dengan skala warna kuning terang (~0 km) hingga merah tua (~7 km). Matriks simetris dengan diagonal nol ini menunjukkan jarak terdekat SPPG ke S01 (0,551 km) dan terjauh S05 ke S06 (7,05 km). Sebagai analisis eksploratif, heatmap ini membantu memahami pola spasial sebelum integrasi data OSM untuk algoritma Dijkstra.



Gambar 3. Visualisasi graf berbobot lengkap

Gambar ini memvisualisasikan graf berbobot K_{11} untuk jaringan distribusi MBG dari SPPG ke 10 SD di Medan Tuntungan. Graf ini terdiri dari 11 simpul (SPPG berwarna merah di tengah, sekolah berwarna biru radial) dan 55 sisi yang merepresentasikan jarak Haversine (km). Sisi merah menandakan rute distribusi utama, sedangkan sisi abu-abu adalah koneksi antar-sekolah. Visualisasi ini berfungsi sebagai analisis eksploratif untuk memvalidasi data geografis dan mengidentifikasi kluster lokasi, seperti S01 dan S02 yang berjarak <1 km dari SPPG.

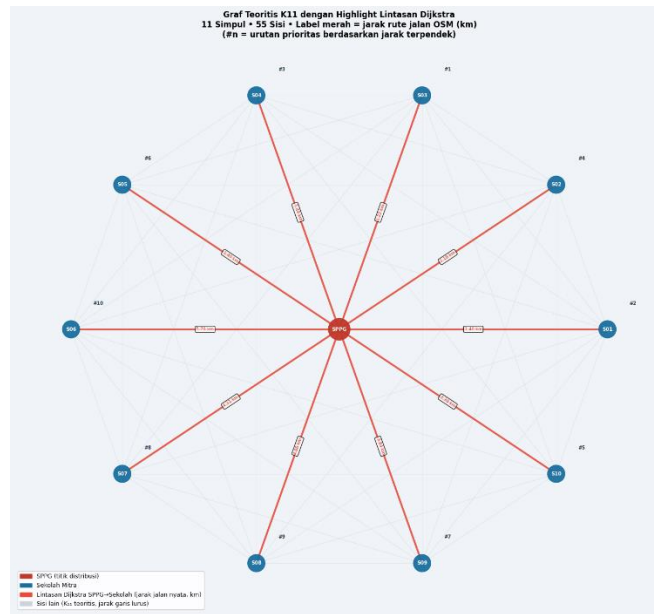
3.3. Komputasi Algoritma Dijkstra pada Jaringan Jalan OSM

Tabel 3. Prioritas distribusi MBG hasil algoritma Dijkstra pada jaringan jalan OSM

Kecepatan_Rata_rata_kmh	Urutan_Prioritas	ID	Nama_Sekolah	Jarak_Rute_km	Est_Waktu_Minut
20.0	1	S03	SD NEGERI 065012	1.219	3.7
20.0	2	S01	Siti Hajar Primary School	1.399	4.2
20.0	3	S04	Sekolah Dasar Islam Terpadu Al-Hijrah	1.488	4.5
20.0	4	S02	SD Negeri	3.182	9.5
20.0	5	S10	SD Muhammadiyah 34	3.381	10.1
20.0	6	S05	SD NEGERI 067246	3.402	10.2
20.0	7	S09	SD N 068332	3.839	11.5
20.0	8	S07	Sekolah Alam Bukit Hijau Medan	4.308	12.9
20.0	9	S08	SD Negeri 068343	4.879	14.6

20.0	10	S06	SD N 060972	5.763	17.3
30.0	1	S03	SD NEGERI 065012	1.219	2.4
30.0	2	S01	Siti Hajar Primary School	1.399	2.8
30.0	3	S04	Sekolah Dasar Islam Terpadu Al-Hijrah	1.488	3.0
30.0	4	S02	SD Negeri	3.182	6.4
30.0	5	S10	SD Muhammadiyah 34	3.381	6.8
30.0	6	S05	SD NEGERI 067246	3.402	6.8
30.0	7	S09	SD N 068332	3.839	7.7
30.0	8	S07	Sekolah Alam Bukit Hijau Medan	4.308	8.6
30.0	9	S08	SD Negeri 068343	4.879	9.8
30.0	10	S06	SD N 060972	5.763	11.5
40.0	1	S03	SD NEGERI 065012	1.219	1.8
40.0	2	S01	Siti Hajar Primary School	1.399	2.1
40.0	3	S04	Sekolah Dasar Islam Terpadu Al-Hijrah	1.488	2.2
40.0	4	S02	SD Negeri	3.182	4.8
40.0	5	S10	SD Muhammadiyah 34	3.381	5.1
40.0	6	S05	SD NEGERI 067246	3.402	5.1
40.0	7	S09	SD N 068332	3.839	5.8
40.0	8	S07	Sekolah Alam Bukit Hijau Medan	4.308	6.5
40.0	9	S08	SD Negeri 068343	4.879	7.3
40.0	10	S06	SD N 060972	5.763	8.6

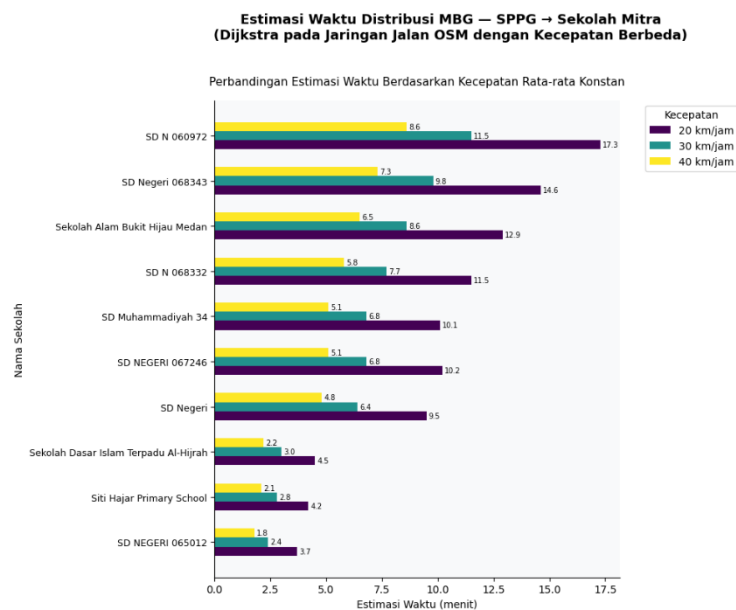
Tabel 3 menyajikan estimasi waktu distribusi ke 10 SD sasaran menggunakan tiga skenario kecepatan (20, 30, dan 40 km/jam) berdasarkan jarak rute jalan nyata (OSM). Data ini menunjukkan pengaruh kecepatan terhadap prioritas dan waktu tempuh misalnya pada 20 km/jam, waktu berkisar dari 3,7 menit (SD N 065012) hingga 17,3 menit (SD N 060972). Pada kecepatan *baseline* 30 km/jam, rute mencakup jarak 1,219 km hingga 5,763 km dengan rata-rata waktu 6,4 menit. Pendekatan ini memberikan gambaran logistik yang lebih realistis dibandingkan model jarak garis lurus.



Gambar 4. Graf berbobot K₁₁ dengan highlight lintasan Dijkstra

Gambar 4 menampilkan visualisasi topologis graf K₁₁ dengan penanda highlight lintasan Dijkstra. Sisi berwarna merah tebal merepresentasikan 10 lintasan terpendek hasil komputasi Dijkstra dari SPPG ke masing-masing sekolah dengan label jarak rute jalan nyata (km). Nomor prioritas (#1 hingga #10) ditampilkan di dekat setiap simpul sekolah untuk mempermudah pembacaan urutan distribusi.

3.4. Perbandingan Efisiensi Rute dan Visualisasi Geografis

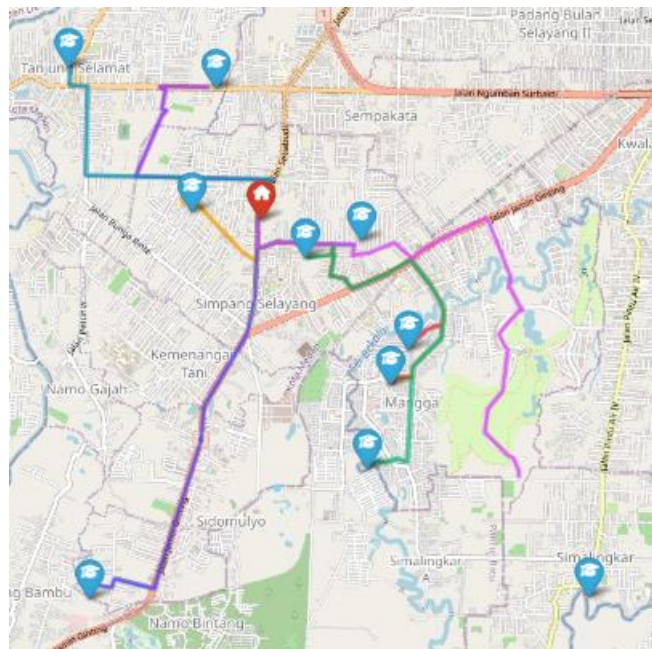


Gambar 5. Diagram batang horizontal perbandingan estimasi waktu distribusi MBG

Grafik batang horizontal ini membandingkan estimasi waktu distribusi MBG dari SPPG ke 10 sekolah di Medan Tuntungan berdasarkan tiga kecepatan (20, 30, dan 40 km/jam) hasil algoritma Dijkstra pada jaringan jalan OSM. Setiap sekolah memiliki tiga bar seperti ungu (20 km/jam), biru tua (30 km/jam), dan kuning (40 km/jam). Hasil menunjukkan kecepatan signifikan memengaruhi waktu distribusi; misalnya SD N 060972 membutuhkan 17,3 menit pada 20 km/jam dibandingkan 8,6 menit pada 40 km/jam.

3.5. Peta Interaktif Rute Distribusi

Gambar 6 menampilkan peta interaktif yang memvisualisasikan rute distribusi aktual berbasis jaringan jalan OSM di Medan Tuntungan. Setiap rute SPPG ke sekolah memiliki warna garis berbeda, dengan tooltip yang menampilkan prioritas, nama sekolah, jarak, dan estimasi waktu saat kursor diarahkan ke rute.



Gambar 6. Peta interaktif distribusi MBG

Peta interaktif ini menggambarkan lintasan distribusi MBG dari SPPG ke 10 SD di Medan Tuntungan berbasis infrastruktur jalan nyata. SPPG (ikon rumah merah) sebagai pusat distribusi dan sekolah (ikon biru) sebagai tujuan dihubungkan oleh rute terpendek berwarna-warni yang telah dioptimalkan dengan algoritma Dijkstra, mempertimbangkan kondisi jalan aktual bukan sekadar jarak geografis. Visualisasi ini membuktikan keandalan pendekatan graf berbobot dalam menghasilkan rute efisien, mengurangi waktu tempuh, dan meningkatkan akurasi prioritas distribusi di lingkungan perkotaan yang kompleks.

4. SIMPULAN

Penelitian ini berhasil memodelkan graf berbobot dan mengoptimalkan rute distribusi Program Makan Bergizi Gratis (MBG) dari SPPG Simpang Selayang ke 10 sekolah dasar di Kecamatan Medan Tuntungan menggunakan Algoritma Dijkstra berbasis jaringan jalan nyata *OpenStreetMap* (OSM). Temuan utama menunjukkan bahwa pendekatan berbasis jaringan jalan memberikan estimasi jarak dan waktu yang jauh lebih representatif dan realistis dibandingkan perhitungan jarak garis lurus (*Haversine*). Berdasarkan komputasi, prioritas distribusi telah tersusun secara sistematis, dengan SD NEGERI 065012 sebagai prioritas utama (jarak rute terpendek 1,219 km) dan SD N 060972 sebagai prioritas terakhir (5,763 km). Penerapan analisis sensitivitas pada tiga skenario kecepatan (20, 30, dan 40 km/jam) juga berhasil memberikan rentang estimasi waktu tempuh yang dinamis, di mana pada kecepatan rata-rata moderat (30 km/jam), rata-rata waktu distribusi ke seluruh sekolah adalah 6,4 menit. Secara keseluruhan, model matematis ini terbukti efektif sebagai landasan pengambilan keputusan logistik untuk menjamin ketepatan waktu pengiriman dan menjaga kualitas makanan yang didistribusikan.

5. UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada Bapak Suvriadi Panggabean atas bimbingan, arahan, dan dukungan yang diberikan sehingga proses penelitian ini dapat berjalan dengan lancar. Penulis juga menyampaikan apresiasi kepada seluruh pihak yang telah membantu dalam proses pengumpulan data, validasi, serta penyusunan artikel ini hingga selesai.

6. REKOMENDASI

Meskipun model yang dikembangkan telah memberikan solusi optimasi rute yang efektif, penelitian ini memiliki keterbatasan karena menggunakan asumsi kecepatan rata-rata konstan yang belum memperhitungkan dinamika lalu lintas perkotaan secara *real-time*, seperti fluktuasi kemacetan pada jam sibuk, durasi proses bongkar muat di setiap sekolah, serta penundaan akibat sinyal lalu lintas. Oleh karena itu, untuk penelitian selanjutnya, disarankan untuk mengintegrasikan data lalu lintas dinamis (*real-time traffic data*) atau mengembangkan model komputasi ke arah *Vehicle Routing Problem* (VRP) dengan kendala waktu (*Time-Dependent VRP*) agar dapat mengakomodasi skenario pengiriman multi-titik (*multi-stop*) dalam satu perjalanan kendaraan. Selain itu, penambahan variabel bobot berbasis kondisi infrastruktur jalan (seperti jenis permukaan jalan atau data kemacetan historis) akan semakin meningkatkan akurasi estimasi waktu dan efisiensi biaya operasional distribusi MBG di lapangan.

7. REFERENSI

Amin, A., & Hendrik, B. (2025). Analisis Penerapan Algoritma Dijkstra dalam Optimasi

- Penentuan Rute: Sebuah Kajian Literatur Sistematis. *Journal of Education Research*, 6(1), 100–106.
- Ariyani, H. D., Nafillah, K., Nindita, K., Ngatmin, & Rahayu, S. T. (2026). Pemodelan Graf Berarah Berbobot untuk Optimasi Penentuan Rute Terpendek Antar Kampus Polimarin Berbasis Algoritma Dijkstra. *Euler: Jurnal Ilmiah Matematika, Sains Dan Teknologi*, 14(1), 151–162.
- Aziizah, D. U., Widzayanto, L. A., Muarifudin, & Ripan. (2026). Optimalisasi Rantai Pasok Pangan Lokal dalam Program Makan Bergizi Gratis (MBG): Studi Kasus Integrasi UMKM dan Satuan Pelayanan Pemenuhan Gizi (SPPG) di Kab. Kendal. *Takuana: Jurnal Pendidikan, Sains, Dan Humaniora*, 5(1), 240–254. <https://doi.org/10.56113/takuana.v5i1.475>
- Baidawi, T., Kuswara, H., Wahyudi, E., & Haryanto. (2025). Optimasi Rute Distribusi Logistik Menggunakan Algoritma Genetika Berbasis Google Maps Api Untuk Efisiensi Biaya Operasional. *Conten : Computer and Network Technology*, 5(2), 57–65.
- Cahya, M. D., Hatmoko, B. D., & Agus, I. (2026). Penentuan Rute Terpendek Pengiriman Barang pada PT AMSA menggunakan Algoritma Dijkstra. *Merkurius: Jurnal Riset Sistem Informasi Dan Teknik Informatika*, 4(3), 116–127.
- Hakim, R. R. Al, Satria, M. H., Arief, Y. Z., Pangestu, A., Jaenul, A., Hertin, R. D., & Nugraha, D. (2022). Aplikasi Algoritma Dijkstra dalam Penyelesaian Berbagai Masalah. *Expert: Jurnal Manajemen Sistem Informasi Dan Teknologi*, 8(1), 42–47.
- Herdiana, D. (2025). Implementasi Kebijakan Makan Bergizi Gratis (MBG): Faktor-faktor Pendorong dan Penghambat. *Madani : Jurnal Ilmiah Multidisiplin*, 3(2), 470–478.
- Jaiman, F., Fallo, D. Y. A., & Banung, F. L. (2025). Analisis Pemahaman Mahasiswa Informatika dalam Menyelesaikan Rute Terpendek Menggunakan Algoritma Dijkstra dengan Graf Berbobot. *Jurnal Kridatama Sains Dan Teknologi*, 7(01), 508–518.
- Kaylla, M. R., Aulis, H. S., Salsabila, Z. Z., & Rohimi, I. A. (2026). Distribusi Pasokan Bahan Pangan Pada Program Makan Bergizi Gratis (MBG) Daerah Sarijadi. *Sinergi: Jurnal Ilmiah Multidisiplin*, 2(2), 1570–1584.
- Maulana, M. D., Hendra, A., Joefrie, Y. Y., Anshori, Y., & Lamasitudju, C. A. (2024). Penerapan Algoritma Dijkstra Untuk Menentukan Rute Terpendek Dalam Distribusi Darah Di Palang Merah Indonesia Kota Palu Berbasis Mobile. *The Indonesian Journal of Computer Science (IJCS)*, 13(6), 10098–10110.
- Nasir, R., Baso, B. T., R.S, A., Amrillah, R., & Plaikari, R. P. (2026). Implementasi Kebijakan Program Makan Bergizi Gratis (MBG) di Sekolah: Analisis Tata Kelola, Akuntabilitas, dan Koordinasi Aktor. *JIIP (Jurnal Ilmiah Ilmu Pendidikan)*, 9(2), 2548–2553.
- Nissa, A., Candra, M., Humairoh, T., & Gusyuliandari, S. (2025). Kebijakan Makanan Bergizi Gratis: Analisis Ekonomi Politik dan Dampaknya terhadap Kesejahteraan Masyarakat Studi Kasus: SMP Negeri 4 Tanjungpinang. *Socius: Jurnal Penelitian Ilmu-Ilmu Sosial*, 2(11), 33–37.
- Oetomo, D. S., Ramdhani, R. F., & Abdi, A. P. (2022). Penentuan rute pengiriman produk dengan meminimalkan biaya transportasi menggunakan metode saving matrik dan nearest neighbour di PT. Aisyah Berkah Utama. *Jurnal Sains Dan Teknologi Keilmuan Dan Aplikasi Teknologi Industri*, 22(1), 130–145.
- Oktaviani, P., Dalnis, I. P., & Wirdianto, E. (2025). Usulan Rute Pendistribusian Gas LPG Menggunakan Algoritma Dijkstra dan Algoritma Genetika Pada Model CGVRP. *Jurnal Rekayasa Sistem Industri*, 14(1), 131–145.

- Qomarrullah, R., Suratni, S, L. W., & Sawir, M. (2025). Dampak Jangka Panjang Program Makan Bergizi Gratis Terhadap Kesehatan Dan Keberlanjutan Pendidikan. *Indonesian Journal of Intellectual Publication (IJI Publication)*, 5(2), 130–137.
- Rahmah, H. A., Anggraini, A., Nilasari, Y. P., & Salsabilla, E. P. (2025). Analisis Efektivitas Program Makan Bergizi Gratis Di Sekolah Dasar Indonesia Tahun 2025. *Integrative Perspectives of Social and Science Journal (IPSSJ)*, 2(2), 2855–2866.
- Reza, I. F. (2025). Urgensi Penjaminan Mutu Dalam Pelaksanaan Program Makan Bergizi Gratis. *Jurnal Analisis Kebijakan*, 9(2), 67–72.
- Rufus, E. C., Riyadi, R. R., Hasibuan, D. N., Christian, E., & Pranatawijaya, V. H. (2024). Penerapan Algoritma Dijkstra Dalam Menentukan Rute Terpendek Untuk Jasa Pengiriman Barang Di Palangka Raya. *JATI (Jurnal Mahasiswa Teknik Informatika)*, 8(3), 3387–3391.
- Safutra, N. I., Fole, A., Gunawan, A., Hafid, M. F., Ahmad, A., & Herdianzah, Y. (2024). Perencanaan Jalur Evakuasi Kebakaran Yang Efisien Untuk Fasilitas Perawatan Rumah Sakit Dengan Menggunakan Algoritma Dijkstra. *Jurnal Rekayasa Sistem Industri (JRSI)*, 9(2), 44–58.
- Serang, A. E., Bolang, A. S. L., & Lapian, S. L. H. V. J. (2025). 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*, 8(6), 1807–1814.
- Silitonga, Y. L., Indra, Z., & Purba, D. P. (2025). Implementasi Algoritma Heuristik Dalam Penyelesaian Masalah Travelling Salesman Problem Pada Optimasi Jalur Pengiriman Makanan Untuk Layanan Online Menggunakan Python. *JATI (Jurnal Mahasiswa Teknik Informatika)*, 9(1), 298–304.
- SP, M. I., & Sembiring, A. C. (2024). Implementasi Algoritma Dijkstra Dalam Penyusunan Rute Distribusi Bahan Bakar Minyak Di Kabupaten Asahan. *JURITI PRIMA (Jurnal Ilmiah Teknik Industri Prima)*, 7(2), 1–6.
- Tambunan, K. A. H., Nababan, R., Siagian, R. A., Naiborhu, R., Harianti, S., & Jamaluddin. (2025). Tinjauan Kritis Tentang Program Makan Bergizi Gratis Terhadap Produktivitas Belajar Siswa. *Katalis Pendidikan: Jurnal Ilmu Pendidikan Dan Matematika*, 2(2), 21–31.
- Wahyudi, R., Alfin, M., Henrydunan, J. B., & Harliana, P. (2024). Penerapan Algoritma Dijkstra Untuk Optimasi Ke Empat Gerbang Kampus Menggunakan Python. *JATI (Jurnal Mahasiswa Teknik Informatika)*, 8(6), 12073–12078.
- Wijayanti, R., Khusniyah, D., Dilia, M. H. H., Fitri, W. A., & Suhardi. (2025). Sistem Distribusi MBG di SMP Falatehan Contoh Praktik Pembelajaran Sistem Kolaborasi yang Efektif di Sekolah. *Jurnal Pengabdian Masyarakat Dan Riset Pendidikan*, 4(1), 1234–1241.