

Analisis Konektivitas dan Optimasi Rute Perjalanan Mahasiswa UMKO: Integrasi Jarak, Aksebilitas, dan Biaya Transportasi Berbasis Teori Graf

Dena Aulia^{1✉}, Elsa Amalia², Meilinda Nacwa Azzahra³, Nur Latifah⁴, Yolanda Aprilia⁵, Darwanto⁶

^{1,2,3,4,5,6} Program Studi Pendidikan Matematika, Fakultas Keguruan dan Ilmu Pendidikan, Universitas Muhammadiyah Kotabumi,
Jl. Hasan Kepala Ratu, Sindang Sari Kec. Kotabumi, Kabupaten Lampung Utara, Lampung
dinaauliaktb2@gmail.com

Abstract

Student mobility to campus requires an efficient transportation system, however, route selection is often based on habit rather than objective calculations of distance, time, or cost. Previous studies on graph theory-based transportation network modeling have generally identified only a single shortest path based on one type of weight comparing alternative routes or integrating fuel cost as a weight from the initial modeling stage. This study aims to model the transportation network to Universitas Muhammadiyah Kotabumi (UMKO) using a weighted graph, compare two alternative routes, and integrate fuel cost as a connection weight. A quantitative approach with a case study design was applied, involving six second-semester students from the Mathematics Education study program at UMKO, selected through purposive sampling. Data on distance, travel time, accessibility, and road conditions were collected through field observation and digital mapping using Google Maps, then converted into weights for a graph $G = (V, E)$ consisting of 10 vertices, divided into Route A (9 vertices, 8 edges) and Route B (8 vertices, 7 edges). The results show that Route B outperforms Route A, with a travel time of 14 minutes compared to 17 minutes and an estimated fuel cost of IDR 3,500 compared to IDR 4,200, owing to a shortcut that reduces the number of intersections that must be passed. This study concludes that integrating distance, time, and cost into a single weighted graph model produces more efficient and practical route recommendations for students. Future research is recommended to further develop this model by incorporating dynamic variables such as traffic conditions and road quality to better reflect real-world conditions.

Keywords: graph theory, weighted graph, shortest path, campus transportation, fuel cost

Abstrak

Perjalanan mahasiswa menuju kampus memerlukan sistem transportasi yang efisien namun, pemilihan rute sering kali didasarkan pada kebiasaan alih-alih perhitungan objektif mengenai jarak, waktu, atau biaya. Penelitian terdahulu mengenai pemodelan jaringan transportasi berbasis teori graf umumnya hanya mengidentifikasi satu jalur terpendek berdasarkan satu jenis bobot tanpa membandingkan rute alternatif atau mengintegrasikan biaya bahan bakar sebagai bobot sejak tahap pemodelan awal. Penelitian ini bertujuan untuk memodelkan jaringan transportasi menuju Universitas Muhammadiyah Kotabumi (UMKO) menggunakan graf berbobot, membandingkan dua rute alternatif, serta mengintegrasikan biaya bahan bakar sebagai bobot koneksi. Pendekatan kuantitatif dengan desain studi kasus diterapkan, melibatkan enam mahasiswa semester dua program studi Pendidikan Matematika UMKO yang dipilih melalui teknik (*purposive sampling*). Data mengenai jarak, waktu tempuh, aksesibilitas, dan kondisi jalan dikumpulkan melalui observasi lapangan dan pemetaan digital menggunakan Google Maps, data tersebut kemudian dikonversi menjadi bobot untuk graf $G = (V, E)$ yang terdiri dari 10 simpul, yang dibagi menjadi Rute A (9 simpul, 8 sisi) dan Rute B (8 simpul, 7 sisi). Hasil penelitian menunjukkan bahwa Rute B lebih unggul dibandingkan Rute A, dengan waktu tempuh 14 menit berbanding 17 menit dan estimasi biaya bahan bakar Rp3.500 berbanding Rp4.200, berkat adanya jalan pintas yang mengurangi jumlah persimpangan yang harus dilalui. Penelitian ini menyimpulkan bahwa integrasi jarak, waktu, dan biaya ke dalam satu model graf berbobot menghasilkan rekomendasi rute yang lebih efisien dan praktis bagi mahasiswa. Penelitian selanjutnya disarankan untuk mengembangkan model ini lebih lanjut dengan memasukkan variabel dinamis seperti kondisi lalu lintas dan kualitas jalan agar lebih mencerminkan kondisi nyata di lapangan.

Kata kunci: teori graf, graf berbobot, jalur terpendek, transportasi kampus, biaya bahan bakar

Copyright (c) 2026 Dena Aulia, Elsa Amalia, Meilinda Nacwa Azzahra, Nur Latifah, Yolanda Aprilia, Darwanto

✉ Corresponding author: Dena Aulia

Email Address: dinaauliaktb2@gmail.com (Jl. Hasan Kepala Ratu, Sindang Sari, Lampung Utara, Lampung)

Received 24 June 2026, Accepted 20 July 2026, Published 23 September 2026

DOI: <https://doi.org/10.31004/cendekia.v10i3.5508>

PENDAHULUAN

Mobilitas di dalam kampus sangat penting untuk kelancaran berbagai kegiatan kulikuler dan non-kulikuler. Setiap hari, mahasiswa, tenaga pengajar, staf, serta pengunjung berpindah antar berbagai fasilitas, seperti ruang kelas, perpustakaan, laboratorium, kantin, dan tempat parkir. Aktivitas yang intens ini menciptakan kebutuhan mendesak akan sistem transportasi intra-kampus yang terorganisir, efisien, dan mudah diakses. Jika jaringan transportasi intra-kampus tidak dirancang secara optimal, perjalanan antar lokasi yang berbeda dapat menjadi tidak efisien, memperpanjang waktu perjalanan, dan mengurangi kenyamanan pengguna.

Untuk memahami dan menganalisis jaringan transportasi, diperlukan pendekatan yang dapat menggambarkan hubungan antar lokasi secara terstruktur. Salah satu metode yang efektif adalah teori graf. Teori graf, cabang matematika diskrit, berfokus pada keterkaitan antar objek berdasarkan simpul (*vertex*) dan sisi (*edge*). Teori graf merupakan teori yang membutuhkan pemahaman konsep yang lebih mendalam, pemahaman konsep tidak hanya terbatas pada kemampuan prosedural tetapi juga mencakup kemampuan berpikir sistematis yang mendalam (Aulia et al., 2026). Tidak hanya sekedar memahami konsep tetapi juga diperlukan mengaplikasikan dari konsep tersebut untuk memecahkan masalah konseptual. Dalam konteks jaringan transportasi universitas, setiap titik penting seperti gedung atau struktur, dapat dimodelkan sebagai sebuah titik (*vertex*) dan penghubung antarlokasi yang kemudian direpresentasikan sebagai sisi (*edge*). Pendekatan ini memungkinkan pemodelan hubungan antar lokasi di dalam kampus, sehingga menyederhanakan analisis struktur jaringan yang dihasilkan (Kanchana & Kavitha, 2020).

Kajian terdahulu mengenai penerapan teori graf dalam pemodelan jaringan transportasi dapat dikelompokkan ke dalam beberapa tema utama. Pertama, penelitian yang membahas pemodelan struktur jaringan menggunakan teori graf, seperti penelitian (Kanchana & Kavitha, 2020), memodelkan lokasi-lokasi penting sebagai simpul (*vertex*) dan jalur yang menghubungkannya sebagai sisi (*edge*), sehingga struktur jaringan menjadi lebih mudah dianalisis. Kedua, sejumlah penelitian berfokus pada penentuan rute tercepat atau terpendek menuju kampus. (Dusakaeva & Savinov, 2023) mengungkapkan bahwa mahasiswa Universitas Pamulang umumnya memilih rute berdasarkan kebiasaan atau tingkat popularitas, bukan berdasarkan analisis objektif terhadap jarak maupun waktu tempuh. Akibatnya, rute yang dipilih belum tentu merupakan jalur yang paling efisien sehingga dapat meningkatkan waktu perjalanan dan biaya transportasi. Sejalan dengan penelitian tersebut, (Rahmadi et al., 2025) memanfaatkan algoritma Dijkstra untuk memperoleh jalur terpendek dari asrama mahasiswa menuju Kampus 2 UIN Sunan Ampel Surabaya. Hasil penelitian menunjukkan bahwa rute yang dihasilkan lebih singkat dan lebih cepat dibandingkan jalur yang biasa digunakan. Ketiga, penelitian juga mulai mengkaji aspek biaya operasional perjalanan, meskipun belum banyak diterapkan pada transportasi menuju lingkungan kampus. (Gautama & Hermanto, 2020) menerapkan algoritma Dijkstra dalam penentuan rute terpendek bagi bus sekolah di Denpasar, kemudian menghitung estimasi biaya bahan bakar berdasarkan jarak tempuh dan tingkat konsumsi bahan bakar kendaraan. Selanjutnya, (Bhattacharyya & Karmakar, 2023) mengembangkan aplikasi berbasis algoritma Dijkstra yang tidak

hanya menentukan rute terpendek bagi kendaraan operasional, tetapi juga memperkirakan konsumsi bahan bakar dengan tingkat akurasi yang tinggi dibandingkan metode perhitungan manual. Secara umum, berbagai penelitian tersebut membuktikan bahwa penerapan teori graf dan algoritma jalur terpendek mampu menghasilkan pemilihan rute yang lebih objektif, efektif, dan efisien dibandingkan dengan penentuan rute secara intuitif. Di samping itu, biaya operasional perjalanan semakin menjadi perhatian dalam penelitian berbasis teori graf, walaupun implementasinya dalam konteks transportasi menuju kampus masih relatif terbatas.

Walaupun berbagai penelitian terdahulu telah membuktikan bahwa teori graf dan algoritma Dijkstra efektif dalam mengoptimalkan rute serta memperkirakan biaya bahan bakar, masih terdapat sejumlah keterbatasan yang membuka peluang bagi penelitian ini. Pertama, penelitian (Dusakaeva & Savinov, 2023) serta (Rahmadi et al., 2025) hanya menitikberatkan pada penentuan satu jalur terpendek berdasarkan jarak atau waktu tempuh, tanpa melakukan perbandingan terhadap alternatif rute lain yang sebenarnya dapat dipilih oleh mahasiswa. Padahal, dalam kehidupan sehari-hari mahasiswa umumnya memiliki lebih dari satu pilihan rute menuju kampus. Oleh sebab itu, analisis yang membandingkan beberapa alternatif rute diperlukan agar dapat memberikan informasi yang lebih realistis dalam menentukan rute terbaik. Kedua, meskipun (Gautama & Hermanto, 2020) dan (Bhattacharyya & Karmakar, 2023) telah mempertimbangkan biaya bahan bakar dalam penelitian mereka, biaya tersebut hanya dihitung setelah rute terpendek diperoleh sehingga berfungsi sebagai hasil perhitungan akhir, bukan sebagai bobot yang digunakan secara langsung dalam pemodelan graf maupun sebagai dasar evaluasi berbagai alternatif rute. Ketiga, secara umum, keempat penelitian tersebut hanya menggunakan satu parameter bobot dalam setiap analisis, yaitu jarak, waktu tempuh, atau biaya bahan bakar secara terpisah. Dengan demikian, belum terdapat penelitian yang menggabungkan perbandingan beberapa rute alternatif dengan penggunaan biaya bahan bakar sebagai bobot graf dalam satu kerangka analisis yang terpadu. Kesenjangan tersebut menjadi penting untuk dikaji karena biaya perjalanan merupakan salah satu faktor utama yang dipertimbangkan mahasiswa dalam melakukan perjalanan rutin ke kampus. Oleh karena itu, rute dengan jarak paling pendek tidak selalu menjadi pilihan yang paling hemat dari sisi ekonomi.

Untuk mengatasi kesenjangan ini, penelitian ini memberikan kontribusi inovatif melalui pendekatan yang lebih komprehensif yang ditinjau dari dua perspektif utama. Pertama, dari sisi metodologis, penelitian ini melampaui sekadar identifikasi satu rute optimal seperti yang terlihat dalam karya (Dusakaeva & Savinov, 2023) dan (Rahmadi et al., 2025) dengan secara eksplisit membandingkan dua rute alternatif yang dapat ditempuh mahasiswa menuju kampus menggunakan kendaraan pribadi dalam model ini, persimpangan direpresentasikan sebagai titik (*vertex*), sedangkan ruas jalan direpresentasikan sebagai sisi (*edge*). Kedua, terkait variabel bobot, penelitian ini memasukkan biaya bahan bakar sebagai bobot sisi dalam graf berbobot sejak tahap pemodelan awal, sekaligus memperlakukannya sebagai perhitungan yang dilakukan setelah rute ditentukan sebuah pendekatan yang sejalan dengan studi (Gautama & Hermanto, 2020) dan (Bhattacharyya & Karmakar, 2023).

Dengan demikian, orisinalitas penelitian ini terletak pada integrasi simultan antara perbandingan rute alternatif dan perhitungan efisiensi biaya bahan bakar dalam satu model graf berbobot pendekatan baru ini menawarkan perspektif yang lebih realistis dan praktis bagi mahasiswa yang merencanakan perjalanan harian ke kampus secara hemat biaya.

Secara teoretis, penelitian ini bertujuan untuk memperdalam pemahaman mengenai penerapan teori graf khususnya graf berbobot, algoritma jalur terpendek, dan konektivitas graf dalam konteks analisis jaringan transportasi yang menggunakan faktor biaya sebagai bobot koneksi. Secara praktis, penelitian ini berupaya membandingkan berbagai pilihan rute dari rumah ke kampus serta mengestimasi biaya bahan bakar, sehingga memberikan informasi yang bermanfaat bagi mahasiswa untuk mengambil keputusan yang lebih efisien dan hemat biaya terkait perjalanan rutin mereka.

Untuk membuat model jaringan transportasi lebih representatif terhadap kondisi dunia nyata, setiap rute yang menghubungkan lokasi dapat diberi nilai spesifik, yang disebut bobot. Bobot ini dapat berupa jarak tempuh, waktu tempuh, atau faktor lain yang relevan dengan perjalanan antar lokasi. Grafik yang diberi nilai untuk setiap rute dikenal sebagai grafik berbobot. Penerapan grafik berbobot ini memungkinkan analisis jaringan transportasi yang lebih tepat, karena setiap rute memberikan informasi yang berguna untuk membandingkan efisiensi rute yang berbeda (Qin et al., 2014).

Masalah krusial dalam graf berbobot adalah menemukan jalur terpendek antara dua simpul. Konsep jalur terpendek digunakan untuk mengidentifikasi rute dengan jarak atau waktu tempuh terpendek dari satu simpul ke simpul lain. Dalam jaringan transportasi universitas, pemilihan rute terpendek secara signifikan membantu pengguna menentukan rute perjalanan yang lebih efisien, sehingga mengoptimalkan mobilitas di dalam area kampus (Mehedi Hassan et al., 2023).

Selain menentukan jalur terpendek, aspek penting lain dari analisis jaringan transportasi adalah konektivitas graf. Konektivitas graf menggambarkan tingkat koneksi dan aksesibilitas antar simpul jaringan di sepanjang rute tertentu. Jaringan dengan konektivitas optimal memungkinkan akses mudah dari lokasi mana pun ke lokasi lain. Analisis ini memberikan wawasan tentang kualitas struktural keseluruhan jaringan transportasi dan mendukung perencanaan rute baru, jika diperlukan (Noschese & Reichel, 2025).

Kajian teori ini menjadi dasar konseptual penelitian. Sebagai salah satu cabang matematika diskret, teori graf mempelajari keterkaitan antarobjek yang digambarkan melalui titik (*vertex*) dan garis penghubung (*edge*). Konsep tersebut banyak dimanfaatkan untuk memodelkan beragam bentuk jaringan, mulai dari jaringan komputer, jaringan sosial, hingga jaringan transportasi (Halagannanavar, 2025).

Sementara itu, graf berbobot merupakan varian graf yang setiap sisinya penghubung antar dua titik yang diberi nilai tertentu yang disebut bobot, yang bisa merepresentasikan jarak, waktu tempuh, maupun biaya perjalanan. Jenis graf ini banyak diterapkan dalam analisis jaringan transportasi sebab mampu menggambarkan kondisi perjalanan secara lebih akurat dan mendekati realitas (Amelia Vega S. Meliala et al., 2024).

Dalam graf berbobot, jalur terpendek adalah jalur yang menghubungkan dua simpul dengan total bobot terendah. Konsep ini banyak diterapkan dalam sistem navigasi dan perencanaan rute untuk menentukan rute yang paling efisien dari segi biaya, dengan memanfaatkan algoritma yang sudah dikenal luas seperti Dijkstra dan Bellman-Ford (Afivah & Meira Perma Dewi, 2025). Algoritma Dijkstra yang pertama kali dikembangkan oleh Edsger Dijkstra pada tahun 1959 bekerja dengan cara memilih jalur berbobot terendah secara berulang, dimulai dari titik awal hingga rute tercepat menuju tujuan ditemukan (Suardinata et al., 2022). Algoritma ini telah banyak diimplementasikan di berbagai bidang praktis termasuk sistem navigasi, Internet, dan transportasi umum serta menunjukkan tingkat efisiensi hingga 30% lebih tinggi dibandingkan metode serupa seperti Bellman-Ford (Attivilli et al., 2023).

Selain jalur terpendek, konsep mendasar lainnya adalah konektivitas graf, yang mengukur tingkat keterhubungan antar-simpul di dalam graf tersebut. Sebuah graf dianggap terhubung jika setiap dua titik di dalamnya dapat dicapai melalui jalur tertentu; analisis terhadap konektivitas ini sangat penting untuk memastikan aksesibilitas yang optimal di seluruh jaringan (Chen & Tong, 2022). Teori-teori ini menjadi landasan untuk memahami dan menangani permasalahan yang dikaji dalam penelitian ini.

METODE

Penelitian ini berlangsung pada semester genap tahun ajaran 2025/2026, dengan tahapan sebagai berikut: observasi pendahuluan dan penentuan subjek dan lokasi penelitian dilakukan pada minggu pertama dan kedua bulan Maret 2026, kegiatan pemetaan digital dilakukan dari bulan Maret hingga April 2026; pengolahan data dan pemodelan grafis dilakukan pada bulan Mei 2026; analisis jalur terpendek dan tingkat konektivitas dilakukan pada bulan Juni 2026, diikuti dengan interpretasi hasil dan penyusunan laporan akhir. Pemilihan lokasi mempertimbangkan relevansinya dengan konteks transportasi kampus, fokus penelitian, serta ketersediaan subjek penelitian yang memenuhi kriteria yang telah ditetapkan sebelumnya. Penelitian ini mengadopsi pendekatan kuantitatif dengan desain studi kasus, mengingat tujuannya adalah untuk secara menyeluruh memeriksa kondisi nyata jaringan transportasi di lingkungan universitas melalui pendekatan pemodelan matematika berdasarkan teori graf. Pendekatan ini dipilih karena kemampuannya untuk menerjemahkan data lapangan kuantitatif dan terukur termasuk jarak tempuh, biaya, dan berbagai indikator aksesibilitas serta kondisi infrastruktur jalan ke dalam representasi grafis yang dapat dianalisis secara sistematis.

Penelitian ini menerapkan pendekatan kuantitatif dengan desain studi kasus (*case study*) untuk menganalisis secara mendalam kondisi aktual jaringan transportasi di lingkungan kampus melalui pemodelan matematis yang berlandaskan teori graf. Pendekatan ini dipilih karena mampu mengubah data lapangan yang bersifat kuantitatif dan terukur, seperti jarak, biaya perjalanan, tingkat aksesibilitas, serta kondisi jalan, ke dalam bentuk graf berbobot (*weighted graph*). Dengan demikian, hubungan antarunsur dalam jaringan transportasi dapat dianalisis secara sistematis dan menghasilkan informasi

yang mendukung proses pengambilan keputusan secara lebih objektif.

Proses penelitian dibagi menjadi lima fase operasional. Fase identifikasi awal melibatkan penentuan subjek penelitian dan titik lokasi di dalam area kampus yang kemudian akan menjadi simpul grafik. Fase pengumpulan data selanjutnya dilakukan melalui pengamatan lapangan langsung dan pemetaan digital untuk mengumpulkan informasi tentang jarak tempuh, perkiraan biaya bahan bakar, tingkat aksesibilitas, dan kondisi jalan untuk setiap segmen rute. Fase ketiga, pemodelan, melibatkan pengorganisasian data yang dikumpulkan ke dalam grafik berbobot $G = (V, E)$ di mana V adalah himpunan simpul yang mewakili lokasi dan E adalah himpunan sisi yang mewakili segmen jalan yang menghubungkan lokasi, lengkap dengan bobot masing-masing. Selanjutnya, fase analisis dilakukan dengan menerapkan algoritma pencarian jalur terpendek dan memeriksa konektivitas grafik untuk menemukan rute yang paling efisien; ini konsisten dengan metode yang digunakan oleh (Suardinata et al., 2022) yang menggabungkan algoritma Dijkstra dengan data jarak dari Google Maps untuk menentukan rute tercepat. Fase interpretasi terakhir membandingkan hasil analisis dengan kondisi lapangan aktual untuk mengembangkan rekomendasi rute transportasi yang paling optimal bagi mahasiswa.

Metode yang diterapkan dalam penelitian ini mengacu pada pendekatan yang dikembangkan oleh (Suardinata et al., 2022), yaitu menggabungkan algoritma Dijkstra dengan data jarak yang diperoleh dari Google Maps untuk menentukan rute tercepat. Tahap terakhir penelitian berupa interpretasi hasil dilakukan dengan membandingkan hasil analisis terhadap kondisi aktual di lapangan, sehingga dapat disusun rekomendasi rute transportasi yang paling sesuai dan efisien bagi mahasiswa.

Penelitian ini melibatkan enam mahasiswa semester dua Program Studi Pendidikan Matematika UMKO yang sedang menempuh mata kuliah Teori Graf sebagai subjek penelitian. Penentuan subjek menggunakan teknik purposive sampling dengan mempertimbangkan beberapa kriteria, yaitu telah mempelajari materi dasar struktur data dan teori graf, serta bertempat tinggal atau melakukan perjalanan secara rutin menuju kampus UMKO sehingga memiliki pemahaman dan pengalaman langsung mengenai kondisi rute yang dianalisis.

Objek lokasi penelitian meliputi 10 titik lokasi yang berbeda dan dikelompokkan ke dalam dua subjaringan berdasarkan wilayah tempat tinggal mahasiswa. Rute A tersusun atas 9 simpul (*vertex*) dan 8 sisi (*edge*), yang mencakup titik transit, persimpangan jalan, serta kampus UMKO sebagai tujuan. Sementara itu, Rute B terdiri atas 8 simpul (*vertex*) dan 7 sisi (*edge*) dengan komponen lokasi yang sama, yaitu titik transit, persimpangan jalan, dan kampus UMKO. Kedua subjaringan tersebut memiliki beberapa simpul yang saling beririsan, meliputi simpul kampus, persimpangan pertama hingga ketiga, serta persimpangan keenam sampai kesembilan, sehingga secara keseluruhan terbentuk 10 simpul unik. Dalam model graf yang digunakan, setiap simpul (*vertex*) merepresentasikan persimpangan jalan utama atau kampus sebagai titik tujuan, sedangkan setiap sisi (*edge*) menggambarkan ruas jalan yang menghubungkan antarsimpul tersebut.

Pada fase kedua penelitian, pengumpulan data dilakukan menggunakan tiga alat utama, yang

masing-masing membantu menangkap variabel jarak, aksesibilitas, kondisi jalan, dan biaya, sebagai masukan untuk pembuatan grafik berbobot. Alat pertama adalah panduan observasi lapangan berupa daftar periksa, yang mencakup aspek-aspek seperti nama lokasi, jenis simpul, kondisi jalan fisik, dan tingkat aksesibilitas. Alat ini berfungsi untuk mengidentifikasi dan mendokumentasikan titik-titik yang akan menjadi simpul dalam grafik. Secara teknis, para peneliti mengunjungi 11 lokasi yang telah ditentukan dan mendokumentasikan kondisi setiap titik melalui lembar observasi satu kali per lokasi. Aktivitas ini dilakukan pada fase awal penelitian, pada Maret 2026. Alat kedua, aplikasi pemetaan digital Google Maps, digunakan untuk mengukur jarak tempuh dalam kilometer dan memperkirakan waktu tempuh antar lokasi, sejalan dengan metode yang digunakan oleh (Mansor et al., 2024) yang menggunakan analisis jaringan berbasis aplikasi seluler untuk merancang rute yang efektif di dalam kampus. Secara teknis, jarak sepanjang setiap segmen jalan rute A dan B diukur menggunakan fungsi petunjuk arah Google Maps, dengan mempertimbangkan alat transportasi yang sesuai dengan kebiasaan mahasiswa, yaitu kendaraan bermotor pribadi.

Data yang diperoleh kemudian disajikan dalam tabel jarak antar node, mengikuti metode (Mansor et al., 2024) untuk mengubah jarak lapangan menjadi bobot grafik. Alat ketiga adalah pedoman estimasi biaya bahan bakar, yang digunakan untuk memperoleh data biaya perjalanan antar node, dengan mempertimbangkan bahwa alat transportasi yang digunakan oleh mahasiswa dalam penelitian ini adalah kendaraan bermotor pribadi. Secara teknis, estimasi biaya didasarkan pada jarak tempuh untuk setiap segmen jalan rute A dan B, yang sebelumnya diperoleh dari Google Maps, dan kemudian dikonversi menggunakan konsumsi bahan bakar rata-rata per sepeda motor (kilometer per liter) dan harga bahan bakar yang berlaku pada saat itu, sehingga menghasilkan estimasi biaya aktual per segmen jalan yang konsisten dan dapat diverifikasi.

Ketiga alat ini diterapkan secara terintegrasi untuk mengumpulkan empat variabel utama: jarak, biaya, aksesibilitas, dan kondisi jalan. Selanjutnya, data kondisi jalan, jarak, dan biaya yang dikumpulkan melalui ketiga alat ini diubah menjadi nilai numerik yang berfungsi sebagai bobot pada grafik. Metode penggabungan beberapa parameter ke dalam satu fungsi pembobotan ini didasarkan pada pendekatan yang digunakan oleh (Aceh et al., 2026), sehingga model grafis yang dihasilkan dapat merepresentasikan kondisi dunia nyata dengan sebaik-baiknya.

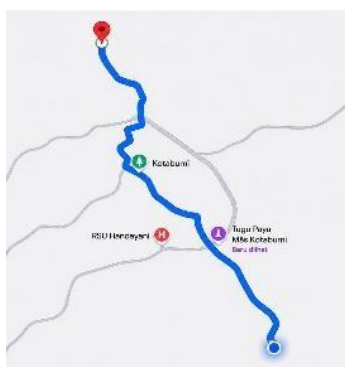
HASIL DAN DISKUSI

Hasil

Melalui observasi lapangan secara langsung serta pemantauan rute berbasis peta digital, penelitian ini berhasil mengidentifikasi dua rute akses yang dapat digunakan untuk mencapai Universitas Muhammadiyah Kotabumi (UMKO), yang selanjutnya disebut sebagai Rute A dan Rute B. Kedua rute tersebut menghubungkan titik keberangkatan yang sama menuju tujuan akhir melalui rangkaian ruas jalan dan persimpangan yang berbeda. Pemanfaatan peta digital dalam proses identifikasi ini sejalan dengan praktik umum dalam penelitian transportasi modern, di mana teknologi pemetaan digital terbukti

mampu menyajikan data mengenai jarak, estimasi waktu tempuh, serta kondisi jaringan jalan dengan tingkat presisi yang lebih tinggi dibandingkan metode konvensional.

Rute A dan B pada dasarnya mengikuti koridor jalan yang sama dari titik awal hingga kampus, berbagi bagian jalan yang sebagian besar identik. Satu-satunya perbedaan antara keduanya terlihat pada satu titik: Rute A terus menyusuri jalan utama, melintasi beberapa persimpangan sebelum kembali ke kampus, sementara Rute B mengambil jalan pintas yang menghindari persimpangan-persimpangan tersebut. Keberadaan jalan pintas ini menunjukkan bahwa jaringan transportasi di sekitar UMKO tidak secara kaku terikat pada satu rute tunggal, tetapi menawarkan koneksi alternatif di bagian-bagian tertentu. Oleh karena itu, analisis lebih lanjut diperlukan untuk menilai dampak jalan pintas ini terhadap waktu tempuh keseluruhan dan efisiensi jarak.



Gambar 1. Jalur A Menuju Kampus UMKO



Gambar 2. Jalur B Menuju Kampus UMKO

Pemodelan Graf Jaringan Transportasi digunakan untuk memfasilitasi analisis jaringan transportasi secara sistematis, kedua rute perjalanan direpresentasikan ke dalam model graf berbobot dengan notasi $G = V, E$, di mana simpul (V) merepresentasikan lokasi atau titik persimpangan jalan, sementara sisi (E) merepresentasikan segmen jalan yang menghubungkan antar simpul. Pendekatan berbasis teori graf ini digunakan dalam matematika terapan maupun studi sistem transportasi karena kemampuannya dalam merepresentasikan relasi antar lokasi secara terstruktur dan terukur (Marian et al., 2025).

Tabel 1. Keterangan Jalur A Dan B

Jalur A	Jalur B
V1 Jl. Nuri (Belok Kanan)	V1 Jl. Nuri (Belok Kanan)
V2 Jl. Tjokoel Soebroto (Belok Kanan)	V2 Jl. Tjokoel Soebroto (Belok Kanan)
V3 Jl. Alamsyah RPN/Jl. Lintas Sumatera (Bundaran, Ambil Jalan Keluar Pertama)	V3 Jl. Alamsyah RPN/Jl. Lintas Sumatera (Bundaran, Ambil Jalan Keluar Pertama)
V10 Jalan Menuju Tujuan (Belok Kanan)	V10 Jalan Menuju Tujuan (Belok Kanan)
V4 Jl. Jend. Sudirman/Jl. Sudirman (Bundaran, Terus Lurus)	V11 Jl. Jend. Sudirman/Jl. Sudirman (Bundaran, Terus Lurus)
V5 Jl. HOS Cokroaminoto (Bundaran, Ambil Jalan Keluar Kedua)	V6 Jl. HOS Aminoto (Belok Kiri)
V6 Jl. HOS Aminoto (Belok Kiri)	V7 Jl. Abung Raya Timur (Belok Kiri)
V7 Jl. Abung Raya Timur (Belok Kiri)	V8 Jl. Sutan Selibar Jagat (Belok Kanan)

V8 Jl. Sutan Selibar Jagat (Belok Kanan)	V9 Jalan Tujuan (Belok Kanan) Universitas Muhammadiyah Kotabumi
V9 Jalan Tujuan (Belok Kanan) Universitas Muhammadiyah Kotabumi	-

Berdasarkan data jalur yang diperoleh, lintasan pada masing-masing rute direpresentasikan sebagai berikut:

Tabel 2. jalur A ke UMKO

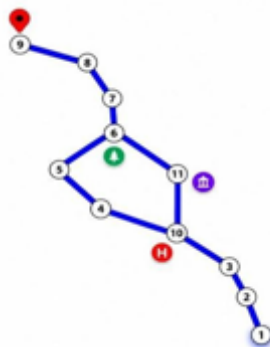
Jalur	Total Waktu Tempuh (Menit)
$V1 \rightarrow V2 \rightarrow V3 \rightarrow V10 \rightarrow V4 \rightarrow V5 \rightarrow V6 \rightarrow V7 \rightarrow V8 \rightarrow V9$	17 Menit

Tabel 3. jalur B ke UMKO

Jalur	Total Waktu Tempuh (Menit)
$V1 \rightarrow V2 \rightarrow V3 \rightarrow V10 \rightarrow V11 \rightarrow V6 \rightarrow V7 \rightarrow V8 \rightarrow V9$	14 Menit



Gambar 3. Model Graf Jaringan Transportasi Jalur A dan Jalur B (Gabungan)



Gambar 4. Model Graf Jaringan Transportasi Jalur A dan Jalur B Menggunakan Algoritma Dijkstra

Bobot pada setiap sisi graf ditetapkan berdasarkan durasi perjalanan dengan asumsi kecepatan rata-rata kendaraan sebesar 50 km/jam. Hal ini sejalan dengan konsep graf berbobot, di mana nilai bobot pada setiap sisi merepresentasikan besaran tertentu seperti jarak, waktu, maupun biaya yang berkaitan dengan perpindahan antar simpul. Untuk menentukan jarak yang diperoleh peneliti menggunakan rumus

jarak = kecepatan x waktu. Sehingga Rute A menempuh jarak $J_a = 50 \times \frac{17}{60}$ sehingga mendapatkan jarak $J_a = 14,17$ km/jam. Rute B menempuh jarak $J_b = 50 \times \frac{14}{60}$ sehingga mendapatkan jarak $J_b = 11,67$ km/jam. Penetapan bobot ini menjadi dasar bagi analisis jalur dalam menentukan rute paling efisien pada jaringan transportasi yang dikaji.

Perhitungan biaya transportasi berdasarkan jarak tempuh kendaraan, penggunaan bahan bakar, serta biaya bahan bakar per-liter. Dalam penelitian ini kendaraan di asumsikan memiliki konsumsi bahan bakar sebesar satu liter untuk menempuh 50 km dengan biaya bahan bakar Rp 15.000 setiap liter.

Rumus yang di gunakan:

$$\text{Biaya Transportasi} = \frac{\text{jarak tempuh}}{\text{rata - rata kecepatan kendaraan}} \times \text{harga bahan bakar} \quad (1)$$

Tabel 4. Bobot Sisi pada Jalur A (Termasuk Estimasi Biaya Bahan Bakar)

Sisi (Perpindahan Antar Simpul)	Bobot Sisi/ Jarak (Km)	Estimasi Waktu (Menit)
V1 → V2	1,50 km	2 menit
V2 → V3	1,50 km	2 menit
V3 → V10	1,50 km	2 menit
V10 → V4	2,50 km	2 menit
V4 → V5	2,00 km	2 menit
V5 → V6	0,67 km	1 menit
V6 → V7	1,50 km	2 menit
V7 → V8	1,50 km	2 menit
V8 → V9	1,50 km	2 menit
Total biaya transportasi		Rp 4.200

Tabel 5. Bobot Sisi pada Jalur B (Termasuk Estimasi Biaya Bahan Bakar)

Sisi (Perpindahan Antar Simpul)	Bobot Sisi/ Jarak (Km)	Estimasi Waktu (Menit)
V1 → V2	1,50 km	2 menit
V2 → V3	1,50 km	2 menit
V3 → V10	1,50 km	2 menit
V10 → V11	0,585 km	1 menit
V11 → V6	0,585 km	1 menit
V6 → V7	1,50 km	2 menit
V7 → V8	1,50 km	2 menit
V8 → V9	1,50 km	2 menit
Total biaya transportasi		Rp 3.500

Setelah diperiksa lebih teliti, perbedaan efisiensi antara kedua rute pada Tabel 4 dan 5 sepenuhnya berasal dari jalan pintas ini, bukan dari perbedaan panjang rute secara keseluruhan. Seperti yang disebutkan, rute A dan B memiliki segmen awal yang identik (V1→V2→V3→V10), sehingga perbedaan bobot keseluruhan ditentukan semata-mata oleh bagaimana kedua rute menghubungkan simpul V10 ke simpul V6. Pada rute A, koneksi ini dicapai melalui serangkaian tiga segmen jalan

(V10→V4→V5→V6) yang melewati dua persimpangan tambahan dengan bobot kumulatif yang jauh lebih tinggi. Sebaliknya, Rute B menggunakan jalan pintas berupa satu segmen transisi tunggal (V10→V11→V6) dengan bobot yang jauh lebih rendah pada setiap segmen, sehingga menghilangkan kebutuhan untuk melewati persimpangan yang dilalui Rute A. Akibatnya, semakin sedikit persimpangan dan semakin pendek segmen penghubungnya, semakin rendah waktu tempuh keseluruhan dan biaya bahan bakar yang dikeluarkan: ini menjelaskan mengapa Rute B secara konsisten lebih efisien baik dari segi waktu (14 menit versus 17 menit) maupun biaya (Rp 3.500 versus Rp 4.200). Dengan kata lain, efisiensi Rute B bukan hanya hasil akhir dari perhitungan matematis, tetapi merupakan konsekuensi langsung dari keberadaan jalan pintas yang memungkinkan rute ini untuk menghindari persimpangan tambahan yang harus dilewati Rute A.

Hasil ini memiliki keunggulan dalam menyajikan perbandingan yang konkret dan terukur antara dua rute nyata, bukan hanya simulasi teoretis, sehingga rekomendasi yang dihasilkan dapat langsung diterapkan oleh mahasiswa dalam perjalanan harian mereka ke UMKO. Lebih lanjut, pendekatan yang secara simultan menggabungkan tiga variable waktu, jarak, dan biaya dalam satu model grafik berbobot memberikan gambaran yang lebih holistik daripada analisis yang berfokus pada satu variabel, sejalan dengan pendekatan representasi node-edge yang diterapkan oleh (Kanchana & Kavitha, 2020) untuk menyederhanakan analisis struktural jaringan.

Namun, penelitian ini memiliki keterbatasan tertentu. Pertama, asumsi kecepatan konstan sebesar 50 km/jam di seluruh ruas jalan mungkin tidak sepenuhnya mencerminkan situasi sebenarnya, mengingat kepadatan lalu lintas bervariasi tergantung pada waktu dan ruas jalan tertentu. Kedua, penelitian ini hanya membandingkan satu rute alternatif yang lebih pendek di lokasi tertentu, sehingga tidak mencakup rute alternatif lain yang juga lebih pendek menuju UMKO. Ketiga, estimasi biaya bahan bakar didasarkan pada asumsi tingkat konsumsi bahan bakar yang seragam, padahal pada kenyataannya kendaraan yang digunakan mahasiswa sangat beragam, yang dapat memengaruhi biaya aktual yang dikeluarkan.

Hasil-hasil ini yang menunjukkan bahwa rute lebih pendek dengan struktur lebih sederhana (ditandai dengan lebih sedikit persimpangan dan segmen yang lebih pendek) menghasilkan efisiensi waktu dan biaya yang lebih baik sejalan dengan dan melengkapi penelitian sebelumnya. Dalam studi jaringan transportasi, memilih rute dengan waktu tempuh terpendek merupakan indikator kunci untuk menentukan rute optimal bagi pengguna jalan (Hajia, 2024). Sebagai contoh, (Dusakaeva & Savinov, 2023) menemukan bahwa mahasiswa Universitas Pamulang sering kali mendasarkan pemilihan rute pada kebiasaan atau popularitas alih-alih pertimbangan objektif, sehingga berisiko membuang-buang waktu dan uang. Penelitian ini secara tidak langsung mendukung pengamatan tersebut: ketika mahasiswa UMKO terbiasa mengikuti rute utama melalui 'Jalur A' sembari mengabaikan rute yang lebih pendek melalui 'Jalur B' mereka kehilangan peluang untuk memperoleh efisiensi lebih baik, sebagaimana dibuktikan oleh selisih waktu tempuh tiga menit dan selisih biaya transportasi sebesar Rp700.

Demikian pula, (Rahmadi et al., 2025) menunjukkan bahwa algoritma Dijkstra menghasilkan efisiensi yang lebih tinggi dibandingkan rute konvensional di UIN Sunan Ampel Surabaya. Namun, penelitian tersebut tidak menganalisis berbagai alternatif secara menyeluruh, ataupun memasukkan biaya perjalanan aktual sebagai faktor pembobot.

Di sisi lain, (Gautama & Hermanto, 2020) dan (Bhattacharyya & Karmakar, 2023) memasukkan biaya bahan bakar dalam analisis jalur terpendek mereka; namun, mereka memperlakukan biaya tersebut sebagai nilai turunan yang dihitung hanya setelah rute ditentukan berdasarkan jarak tempuh dan bukan sebagai bobot yang diterapkan secara langsung selama pemodelan graf. Penelitian ini menerapkan pendekatan yang berbeda dengan mengintegrasikan biaya bahan bakar sebagai bobot sisi (*edge weights*) sejak tahap awal pemodelan, sehingga menempatkannya pada posisi yang setara dengan variabel waktu tempuh. Akibatnya, perbandingan antara rute utama yang dihasilkan dan rute terpendek mencerminkan pertimbangan aspek waktu maupun ekonomi, alih-alih sekadar menjadi perhitungan tambahan yang dilakukan di akhir analisis.

Secara praktis, hasil penelitian ini memberikan rekomendasi rute yang dapat diterapkan bagi mahasiswa UMKO, khususnya mahasiswa baru yang belum mengetahui keberadaan jalan pintas di dalam kampus, karena Rute B terbukti lebih unggul dalam hal waktu dan biaya. Dari perspektif metodologis, penelitian ini berkontribusi dengan menunjukkan bahwa pengintegrasian tiga parameter jarak, waktu, dan biaya dalam satu model grafik berbobot dapat dilakukan secara simultan sejak tahap pemodelan, memperluas cakupan penerapan teori grafik dalam konteks transportasi universitas, yang sebelumnya lebih berfokus pada satu variabel berbobot. Oleh karena itu, penelitian ini tidak hanya memetakan struktur jaringan jalan tetapi juga memberikan gambaran umum tentang tingkat efisiensi suatu rute dalam sistem transportasi (Daniel et al., 2020), sekaligus membuka jalan untuk menerapkan pendekatan serupa pada perencanaan transportasi di kampus lain dengan karakteristik jaringan jalan yang berbeda.

Diskusi

Penelitian ini menunjukkan bahwa teori graf terbukti mampu digunakan secara efektif dalam memodelkan keterkaitan rute perjalanan mahasiswa secara terstruktur. Melalui penerapan tiga parameter pokok, yakni jarak tempuh, konektivitas, dan pengeluaran biaya transportasi, model graf yang dikembangkan berhasil menghasilkan jalur yang lebih baik dibandingkan rute yang biasa digunakan mahasiswa selama ini. Pendekatan ini menawarkan solusi yang sistematis dalam mengatur pola pergerakan mahasiswa, baik di area kampus itu sendiri maupun antarlokasi kampus yang berbeda.

Hasil penelitian ini tidak hanya menguatkan, tetapi juga memperluas temuan-temuan dari penelitian sebelumnya. (Dusakaeva & Savinov, 2023) melaporkan bahwa mahasiswa Universitas Pamulang cenderung memilih rute yang telah mereka kenal tanpa mempertimbangkan tingkat efisiensinya, sehingga berpotensi meningkatkan waktu tempuh dan biaya perjalanan. Sejalan dengan temuan tersebut, (Rahmadi et al., 2025) membuktikan bahwa penerapan algoritma Dijkstra mampu menghasilkan rute yang lebih efisien dibandingkan jalur konvensional pada studi yang dilakukan di

Kampus 2 UIN Sunan Ampel Surabaya. Meskipun demikian, kedua penelitian tersebut belum melakukan analisis komprehensif terhadap berbagai alternatif rute maupun memasukkan biaya perjalanan aktual sebagai bagian dari proses optimasi. Penelitian ini berupaya mengisi kesenjangan tersebut dengan menjadikan biaya bahan bakar sebagai salah satu bobot dalam graf serta membandingkan secara langsung rute utama dengan jalur alternatif yang tersedia. Oleh karena itu, rute yang direkomendasikan tidak hanya memberikan jarak tempuh yang lebih optimal, tetapi juga menawarkan efisiensi biaya sehingga lebih sesuai untuk mendukung mobilitas harian mahasiswa.

Ditinjau dari aspek pemodelan, penelitian ini menerapkan konsep graf berbobot (*weighted graph*), yaitu model graf yang merepresentasikan setiap lokasi sebagai simpul (*node*) dan setiap hubungan antarlokasi sebagai sisi (*edge*). Setiap sisi diberikan bobot yang mencerminkan tiga komponen utama, yaitu jarak, tingkat aksesibilitas, dan biaya perjalanan. Pendekatan tersebut selaras dengan prinsip dasar optimasi graf, khususnya dalam pencarian lintasan dengan bobot minimum (*shortest path*). Penggabungan ketiga parameter tersebut menjadi kontribusi metodologis yang memperkaya penerapan teori graf dalam bidang transportasi, terutama sebagai dasar dalam menghasilkan keputusan perjalanan yang lebih rasional dan efisien. Selain itu, penelitian ini menunjukkan bahwa teori graf memiliki fleksibilitas yang tinggi dalam menyelesaikan permasalahan optimasi transportasi yang melibatkan banyak variabel, baik pada lingkungan kampus maupun pada wilayah yang lebih luas.

Di sisi lain, penelitian ini masih memiliki beberapa keterbatasan yang perlu diperhatikan. Pertama, data yang digunakan masih bersifat statis sehingga belum mampu merepresentasikan perubahan kondisi lalu lintas secara langsung (*real-time*), seperti kemacetan, kecelakaan, maupun penutupan jalan sementara. Kedua, faktor-faktor subjektif yang berpotensi memengaruhi keputusan mahasiswa dalam memilih rute, misalnya tingkat keamanan, kenyamanan, serta preferensi pribadi, belum dimasukkan ke dalam sistem pembobotan. Ketiga, penelitian ini hanya dilakukan pada satu kawasan kampus sehingga hasil yang diperoleh belum tentu dapat diterapkan secara langsung pada wilayah lain tanpa melalui pengujian lebih lanjut.

Berdasarkan keterbatasan tersebut, penelitian selanjutnya disarankan untuk mengembangkan model graf yang bersifat dinamis dengan memanfaatkan data lalu lintas yang diperbarui secara *real-time*. Selain itu, faktor-faktor yang bersifat kualitatif dapat dipertimbangkan melalui penerapan pendekatan *fuzzy weighted graph* sehingga model yang dihasilkan mampu menggambarkan kondisi nyata secara lebih akurat. Perluasan objek penelitian ke berbagai kampus maupun kota lain juga penting dilakukan untuk menguji skalabilitas model sekaligus mengevaluasi tingkat penerapannya pada berbagai kondisi jaringan transportasi.

KESIMPULAN

Penelitian ini telah berhasil memenuhi tujuan yang dirumuskan, yaitu memodelkan jaringan transportasi menuju kampus dalam bentuk graf berbobot dengan persimpangan sebagai simpul dan ruas

jalan sebagai sisi. Penelitian ini juga membandingkan dua rute alternatif yang dapat digunakan mahasiswa dengan kendaraan pribadi serta mengintegrasikan biaya bahan bakar sebagai bobot pada proses pemodelan, sehingga aspek biaya telah dipertimbangkan sejak awal dan tidak hanya dihitung setelah rute terbaik diperoleh. Berdasarkan hasil analisis, salah satu rute alternatif terbukti lebih unggul karena memberikan waktu tempuh yang lebih singkat sekaligus estimasi biaya bahan bakar yang lebih rendah. Dengan demikian, rute tersebut dapat dijadikan sebagai pilihan yang lebih efektif dan efisien bagi mahasiswa dalam melakukan perjalanan menuju kampus.

Temuan penelitian ini memberikan kontribusi dalam pengembangan kajian mengenai penerapan teori graf pada sistem transportasi. Berbeda dengan sebagian penelitian sebelumnya yang hanya menggunakan satu parameter bobot, seperti jarak, waktu, atau biaya secara terpisah, penelitian ini mengintegrasikan perbandingan beberapa rute alternatif beserta estimasi biaya bahan bakar ke dalam satu model graf berbobot. Pendekatan tersebut menghasilkan analisis yang lebih menyeluruh dan memiliki nilai praktis yang lebih tinggi dalam mendukung pengambilan keputusan terkait pemilihan rute perjalanan menuju kampus.

Walaupun demikian, penelitian ini masih memiliki keterbatasan karena belum mempertimbangkan faktor-faktor yang bersifat dinamis, seperti kondisi lalu lintas, tingkat kepadatan kendaraan, dan kualitas jalan, yang dapat memengaruhi waktu tempuh maupun biaya perjalanan. Oleh sebab itu, penelitian selanjutnya disarankan untuk menyempurnakan model yang telah dikembangkan dengan memasukkan variabel-variabel tersebut, menambah jumlah rute alternatif yang dianalisis, serta menerapkan algoritma pencarian lintasan terpendek yang lebih kompleks agar hasil penelitian menjadi lebih akurat, komprehensif, dan sesuai dengan kondisi transportasi di lapangan.

UCAPAN TERIMA KASIH

Peneliti ini ingin menyampaikan rasa terima kasih yang sebesar-besarnya kepada pembimbing dan penasihat yang telah memberikan arahan dan bimbingan selama proses penelitian, kepada para penyandang dana yang telah mendukung penelitian ini secara finansial untuk memastikan keberhasilannya, kepada editor dan juru ketik yang telah berkontribusi dalam revisi dan penyelesaian manuskrip ini, dan kepada para pemasok bahan yang telah menyediakan segala sesuatu yang diperlukan selama penelitian. Kami berharap bahwa semua bantuan dan dukungan yang diberikan akan terbayar dengan layak dan bahwa penelitian ini akan bermanfaat bagi kemajuan ilmu pengetahuan.

REFERENSI

- Aceh, M., Hermaliya, D., Rahmahdani, S., Sahara, R., & Azmi, K. (2026). *Optimasi Multi-Kriteria Rute Distribusi Logistik Menggunakan Modified Dijkstra Algorithm pada Koridor*. 19–28.
- Afivah, & Meira Perma Dewi. (2025). Bellman-Ford Algorithm for Shortest Path Selection. *Rangkiang Mathematics Journal*, 4(1), 1–5. <https://doi.org/10.24036/rmj.v4i1.65>

- Amelia Vega S. Meliala, R., Nabila Harahap, S., Haikal Al-Majid, M., & Harliana, P. (2024). Optimalisasi Rute Transportasi Menggunakan Algoritma Graf. *JATI (Jurnal Mahasiswa Teknik Informatika)*, 8(6), 12625–12632. <https://doi.org/10.36040/jati.v8i6.11996>
- Attivilli, R., Noureen, A., Rao, V. S., & Urolagin, S. (2023). A Real-Time Graphical Representation of Various Path Finding Algorithms for Route Optimisation. *Lecture Notes in Networks and Systems*, 653 LNNS, 479–493. https://doi.org/10.1007/978-981-99-0981-0_37
- Aulia, C. N., Laia, L. H., Rahmadani, N., Febriani, P., Tia, Z., & Munte, R. (2026). Pemahaman Konsep Mahasiswa Ditinjau dari Kemampuan Menyelesaikan Persamaan Diferensial Homogen. *Jurnal Cendekia: Jurnal Pendidikan Matematika*, 10(2), 766–777.
- Bhattacharyya, S., & Karmakar, M. (2023). Optimal Path Planning with Smart Energy Management Techniques Using Dijkstra's Algorithm. *Smart Innovation, Systems and Technologies*, 316, 283–291. https://doi.org/10.1007/978-981-19-5403-0_24
- Chen, C., & Tong, H. (2022). Network Connectivity: Concepts, Computation, and Optimization. *Synthesis Lectures on Learning, Networks, and Algorithms*, 3(1), 1–165. <https://doi.org/10.2200/s01154ed1v01y202111lna028>
- Daniel, C. B., Saravanan, S., & Mathew, S. (2020). GIS based road connectivity evaluation using graph theory. *Lecture Notes in Civil Engineering*, 45, 213–226. https://doi.org/10.1007/978-981-32-9042-6_17
- Dusakaeva, S. T., & Savinov, V. V. (2023). Mobile application for finding the best route on campus. *Ontology of Designing*, 13(3), 455–464. <https://doi.org/10.18287/2223-9537-2023-13-3-455-464>
- Gautama, I. P. W., & Hermanto, K. (2020). Penentuan Rute Terpendek dengan Menggunakan Algoritma Dijkstra pada Jalur Bus Sekolah. *Jurnal Matematika*, 10(2), 116. <https://doi.org/10.24843/jmat.2020.v10.i02.p128>
- Hajia, M. C. (2024). Analisis Rute Terbaik Menggunakan Shortest Route Problem Untuk Meminimalisir Waktu Tempuh Transportasi. *Jurnal Gradasi Teknik Sipil*, 7(2), 129–134. <https://doi.org/10.31961/gradasi.v7i2.1779>
- Halagannanavar, S. (2025). Applied Graph Theory: Techniques and Case Studies from Computational and Scientific Domains. *Advanced International Journal for Research*, 6(4). <https://doi.org/10.63363/aijfr.2025.v06i04.1071>
- Kanchana, M., & Kavitha, K. (2020). A review on transportation and smart logistics using graph theoretical approach. *Advances in Mathematics: Scientific Journal*, 9(8), 6327–6339. <https://doi.org/10.37418/amsj.9.8.100>
- Mansor, N. S., Awang, H., Radzali, N. F. J., Bluszcz, A., Zolkipli, A., & Yee, P. F. (2024). Optimized Campus Navigation using Mobile App: Network Analysis for Effective Route Planning. *2024 7th International Conference on Internet Applications, Protocols, and Services, NETAPPS 2024*. <https://doi.org/10.1109/NETAPPS63333.2024.10823503>

- Marian, A. R., Serdar, M. Z., & Masad, E. (2025). Developing enhanced road network vulnerability assessment using simulation-informed weighted graphs. *Transportation Research Interdisciplinary Perspectives*, 34. <https://doi.org/10.1016/j.trip.2025.101726>
- Mehedi Hassan, M., Asadujjaman, M., & Golam Robbani, M. (2023). A Modified Approach of Dijkstra's Method for Finding Shortest Path in a Weighted Directed Graph. *American Journal of Science, Engineering and Technology*. <https://doi.org/10.11648/j.ajset.20230803.14>
- Noschese, S., & Reichel, L. (2025). Network connectivity analysis via shortest paths. *Numerical Algorithms*. <https://doi.org/10.1007/s11075-025-02225-3>
- Qin, J., He, Y., & Ni, L. (2014). Quantitative efficiency evaluation method for transportation networks. *Sustainability (Switzerland)*, 6(12), 8364–8378. <https://doi.org/10.3390/su6128364>
- Rahmadi, D., Putri, T. N., Ilmi, D. A., Rohmah, S. M., & Safinka, D. N. (2025). Optimasi Jalur Perjalanan Antara Jakarta Dan Surabaya Menggunakan Algoritma Dijkstra. *Al-Aqlu: Jurnal Matematika, Teknik Dan Sains*, 3(1), 74–81. <https://doi.org/10.59896/aqlu.v3i1.140>
- Suardinata, S., Rusmi, R., & Lubis, M. A. (2022). Determining Travel Time and Fastest Route Using Dijkstra Algorithm and Google Map. *Sistemasi*, 11(2), 496. <https://doi.org/10.32520/stmsi.v11i2.1836>