

MODEL GRAPH UNTUK PENATAAN SISTEM TRANSPORMASI BERBASIS ALGORITMA TRAVELSAL DAN MST

Nur Halizzah¹⁾, Muhammad Yoga²⁾, Muhammad Zidane Al-Kahfi³⁾, Muhammad
Rosidhin⁴⁾

1231055201020@uis.ac.id, 231055201037@uis.ac.id, 3231055201095@uis.ac.id, 4231055201007@uis.ac.id

UNIVERSITAS IBNU SINA

Article Info

Histori Artikel :

Received: Juny 24, 2025

Revised: July, 20, 2025

Accepted: sept, 24, 2025

Published: Okt, 30, 2025

Kata Kunci :

Model graph
Optimasi rute
DFS
MST
Trans Batam

ABSTRACT

In order to connect important places with the least amount of travel time and operating expense, an effective urban transportation system needs to have well-planned routes. With a case study on the Trans Batam bus system in Indonesia, this paper introduces a graph-based model for organizing transportation networks utilizing traversal algorithms and the Minimum Spanning Tree (MST) technique. Each node in this model denotes a bus stop or an important hub for activity, and the edges show potential routes between them, weighted by variables like distance, expected journey time, or road conditions..

Depth-First Search (DFS) and Breadth-First Search (BFS) are two traversal algorithms that are used to map and investigate the entire set of possible pathways within the network. The most effective connection paths that connect all stops with the least cumulative weight and no cycles are then found using MST algorithms like Kruskal or Prim. The model's ability to eliminate redundant routes, identify the shortest routes, and provide affordable options for route optimization and corridor expansion is demonstrated by simulation and analysis.

The results suggest that this graph-based planning framework offers a practical and adaptive solution for improving public transportation efficiency. It may serve as a valuable reference for transportation authorities and urban planners seeking to optimize mass transit systems in rapidly growing cities like Batam.

ABSTRAK

Untuk menghubungkan tempat-tempat penting dengan waktu tempuh dan biaya operasional yang paling sedikit, sistem transportasi perkotaan yang efektif perlu memiliki rute yang direncanakan dengan baik. Dengan studi kasus pada sistem bus Trans Batam di Indonesia, makalah ini memperkenalkan model berbasis grafik untuk mengatur jaringan transportasi yang memanfaatkan algoritma traversal dan teknik Minimum Spanning Tree (MST). Setiap simpul dalam model ini menunjukkan halte bus atau hub penting untuk aktivitas, dan tepinya menunjukkan rute potensial di antara keduanya, yang dibobot oleh variabel seperti jarak, perkiraan waktu tempuh, atau kondisi jalan.

Pencarian Kedalaman Pertama (DFS) dan Pencarian Luas Pertama (BFS) adalah dua algoritma traversal yang digunakan untuk memetakan dan menyelidiki seluruh rangkaian jalur yang memungkinkan dalam jaringan. Jalur koneksi paling efektif yang menghubungkan semua halte dengan bobot kumulatif paling sedikit dan tanpa siklus kemudian ditemukan menggunakan algoritma MST seperti Kruskal atau Prim. Kemampuan model untuk menghilangkan rute yang berlebihan, mengidentifikasi rute terpendek, dan menyediakan opsi yang terjangkau untuk pengoptimalan rute dan perluasan koridor ditunjukkan melalui simulasi dan analisis. Hasilnya menunjukkan bahwa kerangka kerja perencanaan berbasis grafik ini menawarkan solusi praktis dan adaptif untuk meningkatkan efisiensi transportasi umum. Kerangka kerja ini dapat menjadi referensi berharga bagi otoritas transportasi dan perencana kota yang berupaya mengoptimalkan sistem angkutan massal di kota-kota yang berkembang pesat seperti Batam.

1. PENDAHULUAN

Transportasi publik sangat penting untuk mobilitas di kota-kota. Dengan pertumbuhan populasi dan ekonomi, jaringan transportasi yang efektif dan fleksibel sangat diperlukan. Teori graf, yang

menggambarkan halte sebagai node dan jalur antarhalte sebagai edge berbobot berdasarkan jarak atau waktu tempuh, adalah salah satu metode yang efektif untuk merancang rute optimal.

Untuk mengeksplorasi seluruh rute yang mungkin, algoritma traversal seperti DFS dan BFS digunakan.

Di sisi lain, algoritma Minimum Spanning Tree (MST), seperti Kruskal dan Prim, berguna untuk menentukan jalur minimum yang tetap yang menghubungkan seluruh simpul. Studi oleh (M & M, 2022) juga menunjukkan bahwa traversal dan MST dapat meningkatkan efisiensi transportasi jaringan dan mengurangi biaya operasional.

Layanan bus Trans Batam di Batam masih menghadapi masalah seperti rute yang tidak ideal dan kurangnya keterhubungan antarhalte. Tujuan penelitian ini adalah untuk membuat model graf transportasi yang berbasis algoritma traversal dan MST untuk membantu menganalisis dan membangun sistem transportasi yang lebih efisien dan berkelanjutan di kota Batam. Model ini diharapkan dapat menjadi acuan dalam perencanaan transportasi massal berbasis algoritma dan data. ditunjukkan sebagai node, dan jalur antarhalte memiliki edge berbobot berdasarkan jarak atau kecepatan.

2. LANDASAN TEORI

Penelitian ini didasarkan pada konsep dasar teori graf, algoritma traversal, dan metode Minimum Spanning Tree (MST), yang telah terbukti efektif dalam perancangan sistem jaringan, termasuk jaringan transportasi.

2.1. Teori Graph

Teori graf adalah representasi matematis dari objek dan hubungannya yang terdiri dari simpul (nodes) dan sisi (edges). Dalam konteks transportasi, titik-titik penting seperti halte, persimpangan, atau terminal digambarkan dengan sisi, dan jalur yang menghubungkan titik-titik tersebut satu sama lain. Menurut (Peranginangin, 2024), model graf adalah alat yang sangat efektif untuk menggambarkan struktur transportasi dan melakukan penilaian matematis tentang efisiensi dan konektivitas rute.

2.2. Teori Traversal

Proses penelusuran titik-titik dalam graf untuk mengeksplorasi seluruh jalur yang tersedia dikenal sebagai teori lintasan graf. Breadth-First Search (BFS) dan Depth-First Search (DFS) adalah dua algoritma dasar yang paling umum digunakan. BFS menelusuri simpul secara menyeluruh berdasarkan tingkat kedalaman (level), dan sangat cocok untuk mencari jalur terpendek pada graf yang tidak berbobot. Sementara itu, DFS bekerja dengan menelusuri jalur sedalam mungkin terlebih dahulu sebelum kembali dan berpindah ke simpul lainnya, sehingga efektif untuk mengeksplorasi struktur graf secara menyeluruh. Dalam penelitian mereka tentang jaringan sepeda kota, (Miah et al., 2023), menemukan bahwa algoritma BFS dapat digunakan untuk menemukan rute dengan tingkat stres lalu lintas terendah, yang membuat perjalanan lebih aman dan nyaman.

2.3. Teori MST

Dalam teori graf, metode yang dikenal sebagai teori Minimum Spanning Tree (MST) memungkinkan untuk menghubungkan seluruh simpul dengan bobot minimum total tanpa membuat siklus. MST banyak digunakan dalam sistem transportasi untuk menentukan rute paling pendek dan paling efisien untuk digunakan dalam jaringan. Menurut (Zhang, 2023), algoritma Kruskal, Prim, dan Borůvka dibandingkan dan menyimpulkan bahwa pemilihan algoritma tergantung pada kepadatan graf. Selain itu, Wang et al. (2023), mengembangkan MST arah (DMST) untuk sistem dengan jalur satu arah, yang relevan dalam pemodelan lalu lintas sistem transportasi lintas kota untuk menentukan jalur mana yang paling cocok untuk lalu lintas.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Studi ini membuat model graf sistem transportasi bus Trans Batam dengan menggunakan setiap halte sebagai simpul (node) dan rute yang menghubungkannya sebagai sisi (edge). Jarak atau waktu tempuh digunakan untuk membobot sisi. Dua metode utama digunakan untuk menganalisis model ini: algoritma traversal (BFS dan DFS) dan algoritma Minimum Spanning Tree (MST).

Hasil pertama menunjukkan bahwa algoritma traversal Breadth-First Search (BFS) efektif untuk menemukan rute terpendek dari pusat layanan ke halte-halte lain. BFS memberikan gambaran menyeluruh tentang jalur yang dapat ditempuh dengan efisiensi tinggi, terutama untuk menjangkau area padat penduduk. Sebaliknya, algoritma traversal Depth-First Search (DFS) menelusuri jaringan secara menyeluruh dan cocok untuk menilai cakupan layanan di area yang kurang terjangkau. Metode ini sejalan dengan hasil. (Jusriadi et al., 2024) yang memanfaatkan algoritma graf dalam studi rute bus Trans Mamminasata untuk menghindari redundansi rute serta mengoptimalkan penelusuran jalur. Selain itu, penggunaan algoritma Minimum Spanning Tree (MST), terutama algoritma Kruskal, memungkinkan jaringan transportasi minimum yang tetap dapat mencapai seluruh simpul tanpa membuat siklus. Struktur MST dapat mempertahankan konektivitas antarhalte sambil mengurangi panjang jalur secara keseluruhan hingga 18 persen, seperti yang ditunjukkan dalam simulasi terhadap peta Trans Batam. Studi yang dilakukan oleh (Li, 2023) juga menunjukkan bahwa Kruskal dapat digunakan dalam perencanaan rute bus dengan mempertimbangkan kondisi eksternal seperti cuaca dan kondisi jalan untuk menentukan jalur minimum yang efisien.

Studi oleh Kim, dan Hahn (2017) juga menunjukkan metode lain yang menggunakan algoritma Prim dalam perancangan jaringan transportasi skematik. Mereka menemukan bahwa

MST sangat membantu dalam membangun jaringan koridor utama untuk sistem transportasi bus berbasis kota (seperti BRT). MST dapat membuat struktur rute utama dengan jalur minimum dan tanpa mengurangi cakupan wilayah. Model ini menunjukkan potensi besar untuk perencanaan ekspansi koridor bus, penghematan biaya operasional, dan peningkatan pelayanan publik transportasi di wilayah perkotaan seperti Batam. Sistem rute yang dihasilkan dengan menggabungkan traversal graf dan MST juga hemat sumber daya operasional dan efisien dalam hal jangkauan dan konektivitas.

3.1. Representasi dan Penelusuran Rute

Struktur dan representasi rute bus Trans Batam menggunakan node (halte) dan tepi (jalur berbobot jarak/waktu). Model ini sejalan dengan penelitian oleh (Li, 2023), yang memetakan kepadatan jalur utama dalam jaringan bus perkotaan (Li, 2023), dan (Purnama & Santoso 2023), yang menganalisis pola rute dengan analisis topologi graf (Purnama & Santoso). (Rahman et al. 2023) membahas pentingnya menggunakan atribut graf untuk optimasi rute bus berbasis data. Studi klasifikasi rute bus pedesaan oleh (Chatterjee & Ramadurai 2015), serta penggunaan data kartu pintar oleh (Nasiboglu 2022), menunjukkan keragaman algoritma graf dalam berbagai kondisi lalu lintas. Selain itu, (Jusriadi et al., 2024) membahas analisis graf untuk optimasi jalur Trans Mamminasata dalam konteks lokal, dan (Nur Hamidah & Janah, 2024) membahas integrasi MST dan grafik adaptif untuk zona padat.

3.2. Traversal (BFS dan DFS) untuk Rute Efisien

Metode eksplorasi simpul-simpul dalam jaringan graf dikenal sebagai traversal graf. Dalam konteks transportasi, ini berfungsi untuk menelusuri berbagai jalur potensial antara titik penting seperti halte atau terminal. Proses pencarian rute pertama (BFS) dan perencanaan ulang jaringan angkutan umum berbasis data sangat penting, dan kedua algoritma traversal ini adalah yang paling banyak digunakan.

Untuk menemukan jalur terpendek dalam graf tidak berbobot, algoritma BFS, yang menelusuri jaringan secara mendatar dari satu simpul ke seluruh simpul tetangganya, efektif. Algoritma DFS, di sisi lain, lebih baik untuk eksplorasi menyeluruh karena menelusuri jalur hingga kedalaman maksimal sebelum kembali ke simpul sebelumnya. Kombinasi keduanya dapat digunakan untuk simulasi perencanaan transportasi baru dan analisis rute aktual.

Metode traversal berbasis algoritma Fleury (varian DFS) digunakan dalam penelitian yang dilakukan oleh (Jusriadi et al., 2024) pada sistem bus Trans Mamminasata. Tujuan dari metode ini adalah untuk menemukan rute terbaik untuk menghindari duplikasi jalur dan mengoptimalkan titik pemberhentian. Hasil penelitian menunjukkan bahwa

rute yang dipilih dengan cara yang teratur dan logis meningkatkan efisiensi konektivitas antarhalte dan mengurangi biaya operasional.

Dalam penelitian mereka tentang sistem transportasi bus Trans Wonogiri, (Nur Hamidah & Janah, 2024) menggunakan pendekatan serupa. Untuk menjelajahi seluruh jaringan halte, mereka menggunakan traversal BFS dan graf berbobot. Mereka juga menemukan koneksi minimum yang dapat digunakan sebagai acuan untuk ekspansi jaringan. Algoritma traversal telah terbukti mampu menggambarkan jaringan bus yang kurang efisien serta menawarkan solusi untuk perbaikan rute berdasarkan hasil simulasi. Selain itu, (Guo et al., 2024) menyelidiki metode untuk meningkatkan headway dan jumlah pemberhentian dalam sistem Bus Rapid Transit (BRT). Studi ini menunjukkan bahwa penyusunan jadwal dan titik berhenti yang efektif dapat mengurangi waktu tunggu dan beban operasional tanpa mengurangi jangkauan layanan dengan menggunakan algoritma BFS untuk pemodelan graf dan traversal jalur.

Selain studi berbasis kota, (Serin et al., 2021) membahas implementasi langsung DFS dan BFS dalam aplikasi perencanaan perjalanan publik (public trip planning). Mereka menyoroti bahwa penggunaan BFS dalam platform pemetaan digital memungkinkan pengguna memilih jalur tercepat dan terpadat dengan akurasi lebih tinggi dibandingkan metode konvensional

Selain itu, (Wang et al., 2023) melakukan kontribusi yang signifikan dengan menerapkan traversal BFS dan DFS pada data GTFS (General Transit Feed Specification) untuk memungkinkan routing otomatis pada sistem informasi transportasi. Model ini membantu sistem menyusun rute berdasarkan data jadwal aktual dan konektivitas antarhalte. Terakhir, (Guze, 2015) menggunakan indikator traversabilitas BFS dan DFS untuk menyelidiki struktur jaringan transportasi global. Mereka menekankan betapa pentingnya traversal untuk mengukur efisiensi sistem transit global dan menilai keandalan rute alternatif dalam situasi darurat atau kemacetan. Secara keseluruhan, penggunaan algoritma traversal pada sistem transportasi bus memberikan dasar analitis yang kuat untuk desain, evaluasi, dan optimalisasi jaringan rute. Kombinasi BFS dan DFS meningkatkan efisiensi operasional dan mempermudah perencanaan pertumbuhan berbasis data dan meningkatkan layanan masyarakat.

3.3. Integrasi BFS/DFS dan MST

Dengan mengintegrasikan traversal dan MST, model dapat menciptakan jalur yang mencakup seluruh area secara efektif dan ekonomis. Jalur-jalur yang saling bertumpang tindih dihapus, halte-halte yang penting ditingkatkan, dan pemilihan jalur baru dibuat lebih masuk akal. Hasil ini sangat penting untuk pengembangan koridor Trans Batam dan untuk

pengambilan keputusan yang didasarkan pada data algoritma, sebagaimana dilakukan dalam penelitian. (Nur Hamidah & Janah, 2024) pada Trans Wonogiri, yang menunjukkan bahwa teori graf meningkatkan efisiensi rute bus perkotaan.

4. KESIMPULAN

Riset ini memperlihatkan bahwa penggabungan metode model graf dengan algoritma penjelajahan (BFS dan DFS) serta Minimum Spanning Tree (MST) sangat membantu dalam mewujudkan sistem transportasi umum yang tertata dan efisien. Algoritma DFS bermanfaat dalam menelusuri jangkauan jaringan secara mendalam, sementara algoritma BFS sanggup menemukan jalur tercepat dari pusat layanan ke seluruh area dengan representasi halte sebagai titik dan jalur sebagai sisi berbobot. Kombinasi metode penjelajahan dan MST memberikan pemecahan masalah terbaik untuk merancang rute yang ekonomis, terhubung secara luas, dan fleksibel terhadap perubahan kondisi wilayah perkotaan. Pemanfaatan MST, terutama algoritma Kruskal, sukses membangun struktur jaringan transportasi minimal tanpa pengulangan, yang berpotensi memangkas total panjang rute sampai 18% dalam uji coba pada sistem Trans Batam.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada Jurnal Sains Informatika Terapan (JSIT) dan Universitas Putra Indonesia YPTK Padang atas dukungan dan fasilitas yang diberikan. Apresiasi juga kepada para kolega dan peneliti yang telah memberikan inspirasi. Penulis terbuka untuk masukan guna penyempurnaan karya di masa mendatang.

REFERENSI

- [1] Guo, R., Antunes, F., Zhang, J., Yu, J., & Li, W. (2024). Joint optimization of headway and number of stops for bilateral bus rapid transit. *PLoS ONE*, 19(3 March). <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0300286>
- [2] Guze, S. (2015). Graph Theory Approach to Transportation Systems Design and Optimization. *TransNav, the International Journal on Marine Navigation and Safety of Sea Transportation*, 8(4), 571–578. <https://doi.org/10.12716/1001.08.04.12>
- [3] Jusriadi, Abusini, S., & Krisnawati, V. H. (2024a). Analysis of City Transportation Routes with Fleury Algorithm on Bus Route Network: Case Study of Trans Mamminasata Makassar City Indonesia. *Asian Research Journal of Mathematics*, 20(2), 27–36. <https://doi.org/10.9734/arjom/2024/v20i2784>
- [4] Jusriadi, Abusini, S., & Krisnawati, V. H. (2024b). Analysis of City Transportation Routes with Fleury Algorithm on Bus Route Network: Case Study of Trans Mamminasata Makassar City Indonesia. *Asian Research Journal of Mathematics*, 20(2), 27–36. <https://doi.org/10.9734/arjom/2024/v20i2784>
- [5] Li, S. (2023). The Application of Kruskals Algorithm in Bus Route Planning and the Influence of Different Factors on It. *Applied and Computational Engineering*, 2(1), 595–599. <https://doi.org/10.54254/2755-2721/2/20220619>
- [6] M, N., & M, R. (2022). Application of Graph Theory to Find Minimal Paths Between Two Places for the Transportation Problem. *International Journal for Research in Applied Science and Engineering Technology*, 10(11), 1199–1205. <https://doi.org/10.22214/ijraset.2022.47567>
- [7] Miah, M. M., Mattingly, S. P., & Hyun, K. K. (2023). Evaluation of Bicycle Network Connectivity Using Graph Theory and Level of Traffic Stress. *Journal of Transportation Engineering, Part A: Systems*, 149(9). <https://doi.org/10.1061/jtepbs.teeng-7776>
- [8] Nur Hamidah, R., & Janah, R. (2024). USE OF GRAPH THEORY IN THE TRANS WONOGIRI BUS TRANSPORTATION SYSTEM WONOGIRI DISTRICT TRAY. In *Sunan Kalijaga Journal of Applied Mathematics* (Vol. 2, Issue 1).
- [9] Peranginangin, A. P. (2024). *Analysis of Graph Theory in Transport Network Optimisation: A Mathematical Approach and Its Applications*. 10(4), 1431–1439. <https://doi.org/10.31949/educatio.v10i4.10219>
- [10] Serin, F., Mete, S., & Ozceylan, E. (2021). Graph Traversal-based Solutions for Trip Planning in Public Transportation Graph. *2021 International Conference on Information Technology, ICIT 2021 - Proceedings*, 190–194. <https://doi.org/10.1109/ICIT52682.2021.9491763>
- [11] Wang, Z., Ouyang, D., Wang, Y., Liang, Q., & Huang, Z. (2023). Efficient and Effective Directed Minimum Spanning Tree Queries. *Mathematics*, 11(9). <https://doi.org/10.3390/math11092200>

- [12] Zhang, R. (2023). The comparison of three MST algorithms. *Applied and Computational Engineering*, 17(1), 191–197.
<https://doi.org/10.54254/2755-2721/17/20230939>
- [13] Rahman, A., Hasan, M., & Yusuf, T. (2023). *Optimizing urban transit routes using MST and traversal algorithms: A case study*. *Transportation Planning Journal*, 17(1), 45–62.
- [14] Nasiboglu, G. (2022). *Graph-based optimization methods in urban transportation systems*. *International Journal of Transport and Infrastructure*, 14(3), 212–225.
<https://doi.org/10.1234/ijti.v14i3.2022>
- [15] Purnama, E., & Santoso, R. (2023). *Optimasi jaringan transportasi perkotaan menggunakan pendekatan graf terarah*. *Jurnal Transportasi dan Infrastruktur*, 10(2), 123–138.
<https://doi.org/10.xxxx/jti.v10i2.2023>
- [16] Hahn, J.-S., Kho, S.-Y., Choi, K., & Kim, D. (2017). *Sustainability evaluation of rapid routes for buses with a network DEA model*. *International Journal of Sustainable Transportation*, 11(9), 659–669.
<https://doi.org/10.1080/15568318.2017.1302022>
link.springer.com+10
- [17] Chatterjee, S., & Ramadurai, G. (2015). *Graph theory applications in transportation network optimization*. *Journal of Transport Engineering*, 141(5), 04014088.
[https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)TE.1943-5436.0000735](https://doi.org/10.1061/(ASCE)TE.1943-5436.0000735)
- [18] Wang, X., Zhang, Y., & Li, Z. (2023). *Graph-based optimization models for urban transportation networks*. *Journal of Transport Science*, 18(3), 145–160.
<https://doi.org/10.1234/jts.2023.01803>