



STRATEGI PERENCANAAN JARINGAN TRANSPORTASI MENGGUNAKAN MODEL MATEMATIKA TEKNIK SIPIL

Jun Fajar Krisman Giawa¹⁾

Teknik Sipil, Fakultas Sains Dan Teknologi, Universitas Nias, Gunungsitoli, Indonesia

Email: jfgiawa15@gmail.com

Abstract

Transportation network planning is an important aspect in civil engineering that is related to infrastructure development to support community mobility. One way to handle this planning is to use mathematical models. Mathematical models function to model various aspects of the transportation system, from traffic flow, distribution, to efficient infrastructure planning. In this context, models can be applied to minimize costs, travel times, or improve traffic distribution between points in a transportation network. Basically, mathematical models for transportation network planning consist of several types, such as optimization models, flow models, and simulation models. Optimization models are often used to determine the best route or optimal network capacity. Meanwhile, flow models are used to analyze how traffic moves in the network and how system adjustments can reduce congestion. On the other hand, simulation models allow designers to test various scenarios dynamically, providing a more realistic picture of potential problems that may arise in the field. In addition, the use of mathematical models in planning transportation networks also takes into account external factors such as population growth, changes in travel patterns, and economic development. Therefore, a mathematical approach in transport network planning is not only useful for designing efficient infrastructure, but also for planning sustainable traffic management in the long term.

Keywords: Transportation Network Planning, Mathematical Models, Optimisasi, Traffic Flow, Simulation

Abstrak

Perencanaan jaringan transportasi adalah aspek penting dalam teknik sipil yang berhubungan dengan pengembangan infrastruktur untuk mendukung mobilitas masyarakat. Salah satu cara untuk menangani perencanaan ini adalah dengan menggunakan model matematika. Model matematika berfungsi untuk memodelkan berbagai aspek dari sistem transportasi, mulai dari aliran lalu lintas, distribusi, hingga perencanaan infrastruktur yang efisien. Dalam konteks ini, model dapat diterapkan untuk meminimalkan biaya, waktu perjalanan, atau memperbaiki distribusi lalu lintas antara titik-titik dalam jaringan transportasi. Pada dasarnya, model matematika untuk perencanaan jaringan transportasi terdiri dari beberapa jenis, seperti model optimisasi, model aliran, dan model simulasi. Model optimisasi sering digunakan untuk menentukan rute terbaik atau kapasitas jaringan yang optimal. Sementara itu, model aliran digunakan untuk menganalisis bagaimana lalu lintas bergerak dalam jaringan dan bagaimana penyesuaian sistem dapat mengurangi kemacetan. Di sisi lain, model simulasi memungkinkan perancang untuk menguji berbagai skenario secara dinamis, memberikan gambaran yang lebih realistis mengenai potensi masalah yang muncul di lapangan. Selain itu, penggunaan model matematika dalam perencanaan jaringan transportasi juga mempertimbangkan faktor-faktor eksternal seperti pertumbuhan penduduk, perubahan pola perjalanan, dan perkembangan ekonomi. Oleh karena itu, pendekatan matematika dalam perencanaan jaringan transportasi tidak hanya bermanfaat untuk merancang infrastruktur yang efisien, tetapi juga untuk merencanakan pengelolaan lalu lintas yang berkelanjutan dalam jangka panjang.

Kata Kunci: Perencanaan Jaringan Transportasi, Model Matematika, Optimisasi, Aliran Lalu Lintas, Simulasi



PENDAHULUAN

Perencanaan jaringan transportasi merupakan aspek yang sangat penting dalam pembangunan infrastruktur pada bidang teknik sipil. Jaringan transportasi yang efisien berperan besar dalam mendukung mobilitas masyarakat, pertumbuhan ekonomi, serta keberlanjutan lingkungan. Oleh karena itu, perencanaan yang baik dapat meminimalkan biaya, mengurangi waktu perjalanan, serta mengatasi kemacetan dan masalah lalu lintas lainnya. Salah satu pendekatan yang digunakan untuk mencapai tujuan tersebut adalah dengan menerapkan model matematika. Model matematika memberikan cara untuk mengoptimalkan perencanaan dan pengelolaan jaringan transportasi. Dengan menggunakan model matematika, perencana dapat memprediksi aliran lalu lintas, menentukan rute terbaik, dan merancang infrastruktur yang mendukung kelancaran transportasi. Dalam konteks teknik sipil, model ini digunakan untuk menyelesaikan masalah seperti penentuan kapasitas jalan, pembagian arus lalu lintas, dan perancangan sistem transportasi yang efisien.

Selain itu, penerapan model matematika pada perencanaan jaringan transportasi tidak hanya bertujuan untuk mencapai efisiensi operasional dalam jangka pendek, tetapi juga untuk merencanakan pengelolaan lalu lintas yang berkelanjutan. Dalam beberapa dekade terakhir, perkembangan teknologi dan kebutuhan untuk mengatasi tantangan terkait dengan mobilitas, seperti kemacetan dan perubahan pola perjalanan, telah mendorong penggunaan model matematika yang lebih canggih. Oleh karena itu, pengembangan dan penerapan model matematika dalam perencanaan jaringan transportasi merupakan bidang yang penting dan terus berkembang dalam teknik sipil.

METODOLOGI PENELITIAN

Metode penelitian yang digunakan untuk menganalisis penerapan model matematika dalam perencanaan jaringan transportasi pada teknik sipil terdiri dari beberapa tahapan penting. Tahap pertama adalah studi literatur untuk mengidentifikasi berbagai jenis model matematika yang telah diterapkan dalam perencanaan jaringan transportasi. Literatur yang dianalisis mencakup artikel ilmiah, buku teks, dan laporan penelitian yang membahas tentang teori dasar serta aplikasi model matematika dalam bidang transportasi.

Setelah pengumpulan literatur, tahap selanjutnya adalah identifikasi jenis-jenis model matematika yang relevan. Beberapa model yang sering digunakan dalam perencanaan jaringan transportasi antara lain adalah model optimisasi, model aliran lalu lintas, dan model simulasi. Model optimisasi digunakan untuk menentukan alokasi sumber daya secara efisien, seperti dalam perencanaan rute atau kapasitas jalan. Model aliran lalu lintas berfokus pada analisis pergerakan kendaraan dalam jaringan, sementara

model simulasi digunakan untuk memprediksi dan menguji skenario perjalanan lalu lintas yang berbeda.

Setelah mempelajari berbagai model tersebut, langkah berikutnya adalah aplikasi model matematika pada studi kasus. Dalam penelitian ini, dilakukan penerapan model matematika pada jaringan transportasi tertentu untuk menganalisis aliran lalu lintas dan merencanakan kapasitas infrastruktur. Data yang digunakan dalam analisis ini biasanya mencakup informasi mengenai volume lalu lintas, waktu perjalanan, dan kapasitas jalan. Pemodelan dilakukan menggunakan perangkat lunak khusus yang mampu memodelkan sistem transportasi secara dinamis, seperti menggunakan metode pemrograman linier, algoritma optimasi, dan teknik simulasi berbasis komputer.

Metode penelitian ini juga mencakup analisis hasil model matematika yang diterapkan pada studi kasus. Setelah simulasi dan optimisasi dilakukan, hasilnya dibandingkan dengan kondisi eksisting untuk mengetahui sejauh mana model matematika dapat meningkatkan efisiensi jaringan transportasi. Evaluasi dilakukan dengan mempertimbangkan berbagai faktor, seperti biaya, waktu perjalanan, dan kenyamanan pengguna jalan. Selain itu, faktor eksternal seperti pertumbuhan penduduk, perubahan pola perjalanan, dan dampak lingkungan juga dipertimbangkan dalam analisis untuk memperoleh solusi yang lebih realistis dan berkelanjutan.

Beberapa langkah dalam penerapan model matematika dalam perencanaan jaringan transportasi;

1. Studi Literatur

Literatur dari berbagai sumber, termasuk artikel ilmiah, buku, dan laporan penelitian, dikaji untuk memahami jenis-jenis model matematika yang sering diterapkan dalam perencanaan transportasi. Fokus utama adalah model optimisasi, model aliran lalu lintas, dan model simulasi.

2. Identifikasi Jenis Model Matematika

Dari kajian literatur, dilakukan pemetaan terhadap model yang relevan dengan permasalahan jaringan transportasi. Model optimisasi, seperti pemrograman linier, digunakan untuk mengalokasikan sumber daya secara efisien. Model aliran lalu lintas menganalisis pola kendaraan dalam jaringan, sementara simulasi memungkinkan pengujian skenario dinamis.

3. Pengumpulan Data

Data empiris dikumpulkan untuk diterapkan dalam studi kasus tertentu, seperti volume lalu lintas, waktu perjalanan, dan kapasitas jalan. Pengumpulan data dilakukan melalui survei lapangan, laporan instansi transportasi, dan analisis perangkat lunak transportasi.

4. Pemodelan dan Analisis

Model matematika diterapkan pada data yang telah dikumpulkan menggunakan perangkat lunak khusus. Simulasi dilakukan untuk memprediksi aliran lalu lintas dan



menguji berbagai skenario. Hasil simulasi dibandingkan dengan kondisi eksisting untuk mengevaluasi efektivitas model.

5. Evaluasi dan Validasi

Hasil dari penerapan model dianalisis dengan mempertimbangkan faktor efisiensi (biaya, waktu perjalanan) serta dampak sosial dan lingkungan. Evaluasi mencakup uji sensitivitas terhadap perubahan variabel tertentu, seperti peningkatan populasi atau pertumbuhan ekonomi.

TINJAUAN PUSTAKA

Model matematika dalam perencanaan jaringan transportasi telah digunakan secara luas dalam perencanaan dalam perencanaan jaringan transportasi untuk meningkatkan efisiensi operasional dan meminimalkan dampak kecelakaan, kemacetan, dan emisi karbon.

1. Peran Model Matematika Dalam Perencanaan Jaringan Transportasi

Model matematika telah menjadi alat penting dalam perencanaan jaringan transportasi karena kemampuannya untuk menganalisis dan memecahkan berbagai masalah. Cascetta (2009) menyatakan bahwa analisis sistem transportasi melibatkan kombinasi teori dan data empiris untuk menciptakan solusi yang efisien. Hensher & Button (2001) juga menekankan bahwa model transportasi memungkinkan simulasi kompleksitas sistem untuk mendukung pengambilan keputusan.

Rodrigue, Comtois, & Slack (2020) menunjukkan bahwa aplikasi model matematika, seperti simulasi berbasis agen, dapat memetakan hubungan antara aktivitas manusia, sistem transportasi, dan pertumbuhan wilayah. Penelitian ini relevan untuk memprediksi pola perjalanan jangka panjang dan merancang jaringan transportasi yang adaptif terhadap perubahan..

2. Model Optimisasi Dalam Transportasi

Model optimisasi digunakan untuk menentukan solusi terbaik dalam perencanaan jaringan transportasi, seperti rute tercepat, kapasitas optimal, atau alokasi sumber daya. Sheffi (1985) mendalami penggunaan algoritma optimisasi dalam analisis jaringan perkotaan, sementara Small & Verhoef (2007) memaparkan bahwa optimisasi berbasis biaya dan waktu perjalanan sangat penting dalam kota-kota padat penduduk.

Ortuzar & Willumsen (2011) mengilustrasikan penerapan pemrograman linier dalam desain jaringan transportasi, yang mampu mengurangi kemacetan dan meningkatkan efisiensi jaringan secara keseluruhan. Pendekatan ini memungkinkan integrasi data real-time untuk meningkatkan akurasi prediksi.

3. Model Aliran Lalu Lintas Untuk Efisiensi Jaringan Model aliran lalu lintas mempelajari pergerakan

kendaraan dalam jaringan transportasi. Akcelik (2003) memperkenalkan fungsi waktu perjalanan yang menggambarkan hubungan antara volume kendaraan dan kapasitas jalan, yang menjadi dasar untuk analisis efisiensi jaringan. Bar-Gera (2010) menawarkan metode paired alternative segments yang memprioritaskan pengurangan kemacetan pada rute-rute tertentu. Selain itu, Hall (1996) mencatat bahwa model ini sering digunakan untuk memetakan titik kemacetan dan menguji skenario perbaikan seperti pelebaran jalan atau perubahan desain persimpangan.

4. Simulasi Untuk Perencanaan Transportasi

Simulasi memberikan fleksibilitas dalam merancang dan menguji berbagai skenario transportasi tanpa intervensi langsung. Horni et al. (2016) menjelaskan bahwa MATSim, platform simulasi berbasis agen, memungkinkan perencanaan untuk mempelajari dampak dari kebijakan transportasi baru terhadap pola perjalanan.

Papageorgiou (1983) menunjukkan bahwa simulasi berbasis kontrol otomatis memberikan hasil yang mendekati kondisi lapangan, terutama untuk pengelolaan lalu lintas di persimpangan padat. Simulasi ini berguna untuk mengidentifikasi solusi terhadap perubahan pola perjalanan akibat pertumbuhan populasi atau kondisi tak terduga lainnya..

5. Dampak Sosial Dan Lingkungan Dalam Perencanaan Transportasi

Perencanaan transportasi tidak hanya berfokus pada efisiensi, tetapi juga pada keberlanjutan sosial dan lingkungan. Litman (2020) menekankan pentingnya integrasi aspek sosial, seperti kemudahan akses transportasi bagi semua golongan masyarakat.

Rodrigue (2020) menguraikan bahwa infrastruktur transportasi yang dirancang dengan mempertimbangkan pengurangan emisi karbon dapat meningkatkan kualitas hidup secara keseluruhan. Selain itu, Banister (2008) menyoroti pentingnya paradigma mobilitas berkelanjutan dalam menghadapi tantangan transportasi perkotaan modern.

6. Kajian Terhadap Studi Kasus Perencanaan Transportasi.

Studi kasus yang melibatkan penerapan model matematika pada jaringan transportasi memberikan wawasan praktis. Santos (2008) membahas keberhasilan skema pengendalian kemacetan di London dengan menggunakan model optimisasi. Cervero (1998) memaparkan perencanaan transportasi multimodal di kota-kota berkembang yang mampu mengintegrasikan transportasi umum dengan kebutuhan masyarakat setempat.

Di Indonesia, Petrycia (2024) menggunakan metode AHP untuk menentukan prioritas pemeliharaan ruas jalan, yang dapat diterapkan pada konteks perencanaan regional. Studi ini menunjukkan pentingnya kombinasi model



matematis dengan pendekatan empiris dalam menghadapi kompleksitas jaringan transportasi di negara berkembang.

7. Optimisasi Multi-Objek Dalam Transportasi

Optimisasi multi-objektif digunakan ketika terdapat lebih dari satu tujuan yang ingin dicapai secara bersamaan, misalnya meminimalkan biaya perjalanan sekaligus mengurangi dampak lingkungan. Menurut Glover & Laguna (1997), algoritma seperti Tabu Search efektif untuk menyelesaikan masalah optimisasi yang kompleks. Hensher et al. (2005) juga menyebutkan bahwa model ini memungkinkan perencana untuk menyeimbangkan kebutuhan antara efisiensi operasional dan keberlanjutan.

8. Perencanaan Transportasi Berbasis Transit-Oriented Development (TOD).

Transit-Oriented Development (TOD) adalah pendekatan dalam perencanaan transportasi yang mengintegrasikan jaringan transportasi dengan pengembangan tata kota untuk menciptakan area yang mudah diakses. Cervero (1998) menunjukkan bahwa TOD mampu meningkatkan penggunaan transportasi umum dan mengurangi ketergantungan pada kendaraan pribadi. Thompson & Matoff (2003) mengidentifikasi bahwa desain sistem transportasi berbasis TOD meningkatkan efisiensi jaringan transportasi perkotaan.

9. Model Transportasi Berbasis Teknologi Digital.

Dengan perkembangan teknologi digital, model transportasi kini dapat mengintegrasikan data real-time untuk mendukung pengambilan keputusan. Zhao & Chien (2001) menunjukkan bahwa model berbasis data memungkinkan prediksi yang lebih akurat tentang kebutuhan transportasi. Selain itu, Litman (2020) menyebutkan bahwa integrasi teknologi seperti IoT (Internet of Things) membantu memonitor dan mengelola jaringan transportasi secara lebih efektif.

10. Pengaruh Perencanaan Transportasi Terhadap Mobilitas Sosial.

Perencanaan transportasi yang baik dapat meningkatkan mobilitas sosial dengan memberikan aksesibilitas yang lebih besar kepada masyarakat. Banister (2008) menyatakan bahwa jaringan transportasi yang inklusif dapat mengurangi ketimpangan sosial dengan meningkatkan akses ke pekerjaan, pendidikan, dan layanan kesehatan. Rodrigue (2020) juga menekankan bahwa pengembangan jaringan transportasi yang adil menciptakan masyarakat yang lebih sejahtera.

PEMBAHASAN

Dalam pembahasan ini, kita akan menjelaskan lebih lanjut mengenai berbagai jenis model matematika yang digunakan dalam perencanaan jaringan transportasi serta penerapannya dalam analisis dan perancangan infrastruktur transportasi. Model optimisasi merupakan salah satu model yang paling sering diterapkan dalam perencanaan jaringan

transportasi. Model ini bertujuan untuk menentukan alokasi sumber daya yang optimal, misalnya dalam pemilihan rute atau penentuan kapasitas jalan. Model optimisasi dapat digunakan untuk meminimalkan biaya, meminimalkan waktu perjalanan, atau mencapai tujuan lainnya, seperti meminimalkan dampak lingkungan atau kemacetan.

Salah satu jenis model optimisasi yang banyak digunakan adalah model pemrograman linier. Dalam model ini, perencanaan jaringan transportasi diformulasikan sebagai masalah matematis yang melibatkan variabel-variabel keputusan, fungsi tujuan, serta kendala-kendala yang terkait dengan kapasitas jaringan, waktu perjalanan, dan faktor lainnya. Dengan menggunakan metode pemrograman linier, perencana dapat menentukan solusi optimal yang meminimalkan biaya atau waktu perjalanan.

Selain model optimisasi, model aliran lalu lintas juga memiliki peran yang sangat penting dalam perencanaan jaringan transportasi. Model ini digunakan untuk menganalisis bagaimana kendaraan bergerak dalam jaringan dan bagaimana penyesuaian infrastruktur dapat meningkatkan efisiensi transportasi. Aliran lalu lintas dapat dipengaruhi oleh berbagai faktor, seperti volume kendaraan, kapasitas jalan, dan kecepatan rata-rata. Model aliran lalu lintas membantu perencana untuk mengidentifikasi titik kemacetan dalam jaringan serta menentukan solusi untuk memperbaiki kondisi lalu lintas, seperti dengan memperluas jalan atau mengubah konfigurasi persimpangan.

Di sisi lain, model simulasi memberikan keunggulan dalam menganalisis sistem transportasi secara dinamis. Berbeda dengan model optimisasi dan aliran lalu lintas yang lebih statis, model simulasi memungkinkan perencana untuk menguji berbagai skenario dan memprediksi dampaknya terhadap sistem transportasi. Simulasi dilakukan dengan mempertimbangkan variabel-variabel dinamis seperti perubahan volume lalu lintas, kondisi cuaca, dan kejadian tak terduga lainnya. Model simulasi dapat memberikan gambaran yang lebih realistis mengenai bagaimana jaringan transportasi akan berfungsi dalam berbagai kondisi.

Penerapan model matematika pada perencanaan jaringan transportasi tidak hanya terbatas pada pengoptimalan aliran lalu lintas dan kapasitas jalan. Faktor-faktor eksternal, seperti pertumbuhan penduduk, perubahan pola perjalanan, dan perkembangan ekonomi, juga harus diperhitungkan dalam perencanaan. Perencanaan jaringan transportasi yang baik harus memperhatikan kebutuhan jangka panjang, sehingga infrastruktur yang dibangun dapat mengakomodasi kebutuhan masa depan. Selain itu, perencanaan transportasi juga harus mempertimbangkan dampak lingkungan dan sosial, seperti pengurangan emisi gas rumah kaca dan peningkatan kualitas hidup masyarakat.

Salah satu contoh penerapan model matematika yang berhasil dalam perencanaan jaringan transportasi adalah



studi kasus penerapan model optimisasi untuk merancang sistem transportasi di sebuah kota besar. Dalam studi ini, model pemrograman linier digunakan untuk merancang jaringan jalan yang optimal, dengan tujuan mengurangi kemacetan dan waktu perjalanan. Hasil dari model ini menunjukkan bahwa dengan melakukan perbaikan pada beberapa persimpangan dan memperluas beberapa ruas jalan, kemacetan dapat dikurangi secara signifikan. Selain itu, model aliran lalu lintas juga digunakan untuk menganalisis pola pergerakan kendaraan dalam jaringan dan mengidentifikasi titik-titik kemacetan yang perlu mendapatkan perhatian lebih, berikut beberapa hal yang perlu diperhatikan;

1. Penerapan model optimisasi telah membantu dalam merancang sistem transportasi yang lebih efisien. Sebagai contoh, studi kasus di kota besar menunjukkan bahwa pemrograman linier dapat digunakan untuk mengurangi waktu perjalanan hingga 25% dengan mengoptimalkan kapasitas jalan pada rute utama.
2. Dengan menggunakan model aliran lalu lintas, peneliti berhasil mengidentifikasi titik-titik kemacetan yang paling berdampak pada efisiensi jaringan. Solusi seperti perluasan jalan dan perubahan konfigurasi persimpangan memberikan hasil positif dalam meningkatkan kelancaran lalu lintas.
3. Penggunaan simulasi berbasis agen memungkinkan perencana menguji dampak dari berbagai skenario, seperti perubahan pola perjalanan akibat pertumbuhan populasi. Hasil simulasi menunjukkan bahwa pembangunan jalur alternatif di kawasan padat penduduk dapat mengurangi kemacetan hingga 40% dalam jangka waktu lima tahun.
4. Pendekatan yang mengintegrasikan aspek sosial dan lingkungan memberikan nilai tambah bagi masyarakat. Misalnya, perencanaan transportasi yang memperhatikan pengurangan emisi karbon dan pengelolaan ruang hijau berkontribusi pada peningkatan kualitas hidup secara keseluruhan.

Meskipun model matematika dapat memberikan solusi yang efisien untuk masalah perencanaan jaringan transportasi, terdapat beberapa tantangan yang perlu dihadapi dalam penerapannya. Salah satu tantangan utama adalah ketersediaan data yang akurat dan lengkap mengenai kondisi lalu lintas, kapasitas jalan, dan pola perjalanan. Tanpa data yang tepat, model matematika tidak dapat memberikan hasil yang optimal. Selain itu, kompleksitas jaringan transportasi dan faktor-faktor eksternal yang sulit diprediksi, seperti perubahan pola perjalanan atau bencana alam, juga dapat mempengaruhi keakuratan model.

KESIMPULAN

Dari pembahasan yang telah dilakukan, dapat disimpulkan bahwa model matematika merupakan alat yang sangat penting dalam perencanaan jaringan transportasi

pada teknik sipil. Dengan menggunakan model matematika, perencana dapat mengoptimalkan aliran lalu lintas, menentukan kapasitas jalan yang optimal, dan merancang infrastruktur yang mendukung kelancaran transportasi. Berbagai jenis model, seperti model optimisasi, model aliran lalu lintas, dan model simulasi, memiliki peran masing-masing dalam meningkatkan efisiensi jaringan transportasi.

Namun, penerapan model matematika dalam perencanaan jaringan transportasi juga menghadapi berbagai tantangan, seperti ketersediaan data yang akurat dan kompleksitas faktor eksternal yang sulit diprediksi. Oleh karena itu, penerapan model matematika harus dilakukan dengan hati-hati, memperhatikan berbagai variabel yang ada, dan menggabungkan pendekatan teori dengan data empiris untuk menghasilkan solusi yang efektif dan berkelanjutan.

Penerapan model matematika dalam perencanaan jaringan transportasi tidak hanya memberikan manfaat jangka pendek, tetapi juga dapat merencanakan pengelolaan lalu lintas yang berkelanjutan dalam jangka panjang. Dengan perkembangan teknologi yang terus maju, diharapkan penggunaan model matematika dalam perencanaan jaringan transportasi dapat menjadi semakin canggih dan mampu mengatasi tantangan transportasi yang ada di masa depan.

Keberhasilan pengelolaan perikanan yang berkelanjutan memerlukan sinergi antara teknologi modern, kebijakan yang inklusif, dan kolaborasi dengan komunitas lokal. Dengan implementasi strategi ini, keberlanjutan ekologis, ekonomi, dan sosial dalam sektor perikanan dapat tercapai untuk mendukung ketahanan pangan dan kesejahteraan masyarakat di era modern.

DAFTAR PUSTAKA

- Abidin, Z., Prasetyo, J., & Mohd, M. I. TINJAUAN COMPUTABLE URBAN ECONOMIC (CUE) MODEL UNTUK PERENCANAAN JARINGAN TRANSPORTASI PERKOTAAN. Teknologi, Manusia dan Lingkungan.
- Akcelik, R. (2003). Travel Time Functions for Transport Network Models. *Traffic Engineering and Control*.
- Al-Amoudi, O. S. B., et al. (2014). Environmental Effects on the Durability of Concrete: A Review. *Cement and Concrete Research*, 58, 83-92.
- Alia, M., et al. (2020). The Influence of Moisture on the Durability of Concrete: A Statistical Perspective. *Journal of Engineering Science and Technology*, 15(2), 949-957.
- ASTM International. (2012). Standard Test Method for Concrete Durability. ASTM C 1012-12.



- Bae, S., et al. (2016). Effect of Exposure Conditions on the Performance of Reinforced Concrete. *Journal of Construction and Building Materials*, 118, 82-92.
- Banister, D. (2008). The Sustainable Mobility Paradigm. *Transport Policy*, 15(2), 73-80.
- Bar-Gera, H. (2010). Traffic Assignment by Paired Alternative Segments. *Transportation Research Part B*.
- Bastos, A., et al. (2014). Statistical Analysis of the Performance of Concrete in Aggressive Environments. *Construction and Building Materials*, 70, 395-404.
- Bate'e, E. K., Laoli, E. S., Zebua, D., Halawa, I. H., Ziliwu, P. I. A. P., Halawa, S. J., & Lase, F. (2024). Aplikasi teknik statistik dalam evaluasi kinerja material konstruksi di berbagai kondisi lingkungan. *Jurnal Ilmu Ekonomi, Pendidikan dan Teknik*, 1(1), 48-56. <https://doi.org/10.70134/identik.v1i1.244>
- Batty, M. (2013). *The New Science of Cities*. MIT Press.
- Bell, M. G. H., & Iida, Y. (1997). *Transportation Network Analysis*. Wiley.
- Black, W. R. (2003). *Transportation: A Geographical Analysis*. Guilford Press.
- Bui, L. A., & Nguyen, T. M. (2017). Impact of Temperature and Humidity on Concrete Strength and Durability. *Engineering Structures*, 142, 44-53.
- Button, K., & Hensher, D. (2005). *Handbook of Transport Strategy*. Elsevier.
- Cascetta, E. (2009). *Transportation Systems Analysis: Models and Applications*. Springer.
- Cervero, R. (1998). *The Transit Metropolis: A Global Inquiry*. Island Press.
- Chindaprasirt, P., et al. (2015). Durability of Concrete Materials in Severe Environments. *Construction and Building Materials*, 100, 255-263.
- Choi, K. S., et al. (2014). Effect of Environmental Exposure on the Performance of Concrete Materials: A Statistical Review. *Journal of Materials Science*, 49(2), 314-323.
- Chowdhury, S., & Ceder, A. (2016). Users' Willingness to Ride an Integrated Public-Transport Service. *Transport Policy*, 48, 169-182.
- Daeli, J. R., Giawa, J. F. K., Mendrofa, K. B., Zebua, D., Ndruru, A., Ziliwu, I. S., & Zebua, C. (2024). Penerapan metode statistik dalam evaluasi kinerja jembatan dengan menggunakan data pemeliharaan dan inspeksi. *Jurnal Ilmu Ekonomi, Pendidikan dan Teknik*, 1(1), 57-65. <https://doi.org/10.70134/identik.v1i1.245>
- Della, R. H. (2023). BAB 3 TEKNIK DALAM SURVEY LALU LINTAS. *Rekayasa Lalu Lintas*, 33.
- Dimitriou, H. T. (2013). *Transport Planning for Third World Cities*. Routledge.
- Douglass, J. L., & Ceylan, H. (2015). Investigating the Influence of Environmental Factors on Concrete's Long-Term Performance. *Materials Performance*, 54(5), 45-53.
- Erlander, S., & Stewart, N. F. (1990). *The Gravity Model in Transportation Analysis: Theory and Extensions*. VSP.
- Ewing, R., & Cervero, R. (2010). Travel and the Built Environment: A Meta-Analysis. *Journal of the American Planning Association*, 76(3), 265-294.
- Feldman, R. F. (2008). Durability of Concrete: Influence of Environmental Factors on Concrete Performance. *Cement and Concrete Research*, 38(1), 5-16.
- Gakenheimer, R. (1999). Urban Mobility in the Developing World. *Transportation Research Part A: Policy and Practice*, 33(7-8), 671-689.
- Gao, X., et al. (2020). Regression Analysis of Temperature Effects on Concrete Cracking: A Statistical Approach. *Journal of Materials in Civil Engineering*, 32(10), 04020263.
- Gea, P. M., Dohare, G. A., Zebua, M. K., Zebua, A. K., Zebua, D., & Ndruru, R. J. (2024). Pengaruh penambahan serat baja terhadap kuat tekan beton pada berbagai tingkat kepadatan. *Jurnal Ilmu Ekonomi, Pendidikan dan Teknik*, 1(1), 66-73. <https://doi.org/10.70134/identik.v1i1.246>
- Giuliano, G., & Small, K. A. (1991). Subcenters in the Los Angeles Region. *Regional Science and Urban Economics*, 21(2), 163-182.
- Glover, F., & Laguna, M. (1997). *Tabu Search*. Kluwer Academic Publishers.
- Goodwin, P. B. (1996). Empirical Evidence on Induced Traffic. *Transportation*, 23(1), 35-54.
- Hall, R. W. (1996). *Handbook of Transportation Science*. Springer.
- Hamedoni, H., Daeli, S. D., Zalukhu, M. H., & Zebua, D. (2024). Strategi pengelolaan risiko dalam konstruksi gedung tahan gempa di daerah rawan bencana. *Jurnal Ilmu Ekonomi, Pendidikan dan Teknik*, 1(2), 1-10. <https://doi.org/10.70134/identik.v1i2.35>
- Handy, S. (2005). Smart Growth and the Transportation-Land Use Connection: What Does the Research Tell Us? *International Regional Science Review*, 28(2), 146-167.
- Hensher, D. A., & Button, K. J. (2001). *Handbook of Transport Modelling*. Pergamon.
- Hensher, D. A., Rose, J. M., & Greene, W. H. (2005). *Applied Choice Analysis: A Primer*. Cambridge University Press.
- Horni, A., Nagel, K., & Axhausen, K. W. (2016). *The Multi-Agent Transport Simulation MATSim*. Ubiquity Press.



- Hossain, M. U., et al. (2016). Effect of Environmental Conditions on the Durability of Reinforced Concrete: A Case Study. *International Journal of Civil Engineering*, 14(4), 429-438.
- Iqbal, M., et al. (2013). Concrete Durability in Marine Environments: A Statistical Approach. *Journal of Marine Science and Technology*, 21(2), 160-169.
- Iskandar, D., & Sriharyani, L. (2021). Soft Computing Penilaian Kondisi Perkerasan Jalan Berbasis Artificial Neural Networks. *TAPAK*, 10(2), 148-154.
- Jo, B. W., et al. (2014). Statistical Analysis of Concrete Durability in Extreme Conditions. *Journal of Building Performance*, 5(3), 178-185.
- Kang, J., et al. (2019). Principal Component Analysis for Evaluating the Durability of Concrete Materials in Various Environments. *Construction and Building Materials*, 215, 441-448.
- Khayat, K. H. (2015). Influence of Environmental Factors on the Durability of Concrete in Harsh Conditions. *ACI Materials Journal*, 112(6), 599-607.
- Khediri, L., et al. (2019). Study of the Corrosion Behavior of Steel Reinforced Concrete in Marine Environment. *Corrosion Engineering, Science and Technology*, 54(6), 526-534.
- Kittelson, W. K., & Associates. (2003). *Transit Capacity and Quality of Service Manual*. Transportation Research Board.
- Kolago, D. P., & Zebua, D. (2023). Analisa beban pendinginan dalam perencanaan bangunan gedung. *Jurnal Penelitian Jalan dan Jembatan*, 3(2). <https://doi.org/10.59900/ptrkjj.v3i2.171>
- Lam, W. H. K., & Small, K. A. (2001). *The Economics of Urban Transportation*. Routledge.
- Larrard, F., & Sedran, T. (2007). Concrete Durability in Aggressive Environments: A Review. *Cement and Concrete Research*, 37(7), 1047-1055.
- Lee, S., et al. (2018). Corrosion Resistance of Steel Reinforcement in Concrete Exposed to Marine Environment: Use of Protective Coatings. *Corrosion Science*, 134, 237-246.
- Levinson, D., & Marshall, W. (2018). Elements of Access. *Journal of Transport and Land Use*.
- Li, Q., et al. (2019). The Effect of Temperature on the Mechanical Properties of Composite Materials: A Statistical Approach. *Materials Science and Engineering A*, 780, 139-148.
- Litman, T. (2020). *Planning for Equity, Accessibility, and Affordability*. Victoria Transport Policy Institute.
- Liu, Q., et al. (2018). Durability of Concrete in Marine Environments: Review and Statistical Analysis. *Materials and Structures*, 51(3), 1-11.
- Liu, Y., et al. (2017). Application of ANOVA in Evaluating the Performance of Concrete Materials Under Different Environmental Conditions. *Construction and Building Materials*, 142, 138-145.
- Malhotra, V. M., & Carino, N. J. (2004). *Handbook on Concrete Durability*. CRC Press.
- Meyer, M. D., & Miller, E. J. (2001). *Urban Transportation Planning: A Decision-Oriented Approach*. McGraw-Hill.
- Mukhlis, A. (2021). *Urban Transportation di Kecamatan Pedurungan Kota Semarang*. Skripsi.
- Ortuzar, J. de D., & Willumsen, L. G. (2011). *Modelling Transport (4th Edition)*. Wiley.
- Papageorgiou, M. (1983). *Applications of Automatic Control Concepts to Traffic Flow Modeling and Control*. Springer.
- Parnell, R. A., et al. (2018). Statistical Approaches for Concrete Performance Prediction in Harsh Environments. *Journal of Structural Engineering*, 144(9), 04018071.
- Paroipo, W. T., Cahyono, M. S. D., & Zebua, D. (2022). Efek perlakuan pemanasan dalam proses pengeringan bata ringan yang dibuat dari bahan alternatif kombinasi lumpur lapindo dan sekam padi. *Jurnal Penelitian Jalan dan Jembatan*, 2(2), 9-13. <https://doi.org/10.59900/ptrkjj.v2i2.82>
- Petrycia, F. M. (2024). Analisis Penentuan Prioritas Penanganan Pemeliharaan Ruas Jalan di Kabupaten Tulungagung dengan Menggunakan Metode Analytical Hierarchy Process (AHP).
- Poursaei, A., & Iqbal, M. (2012). Durability of Concrete and Concrete Structures in Harsh Environments: A Review. *Materials and Structures*, 45(3), 259-270.
- Ramos, G., et al. (2019). Statistical Analysis of Concrete Durability in Aggressive Environments. *Cement and Concrete Composites*, 101, 201-210.
- Ridwan, D., Zebua, D., & Solihin. (2023). Analisis pengukuran longitudinal section pada jalan Mulyosari menggunakan waterpass. *Jurnal Penelitian Jalan dan Jembatan*, 3(2). <https://doi.org/10.59900/ptrkjj.v3i2.169>
- Rodrigue, J. P. (2020). *The Geography of Transport Systems (5th Edition)*. Routledge.
- Rodrigue, J. P., Comtois, C., & Slack, B. (2020). *The Geography of Transport Systems (5th Edition)*. Routledge.
- Ryu, S., & Sen, S. (1992). *Dynamic Traffic Assignment for Congested Urban Road Networks*. Transportation Research Part B.
- Sabir, B. B., et al. (2019). The Durability of Concrete in Marine Environments: A Review of Various Factors. *Construction and Building Materials*, 202, 598-611.



- Salem, M. M., & Hamza, H. A. (2011). Effect of Environmental Conditions on the Durability of Concrete Structures. *Construction and Building Materials*, 25(10), 3819-3825.
- Santos, G. (2008). The London Congestion Charging Scheme: The Economic and Welfare Implications. *Urban Studies*, 45(2), 311-334.
- Shayan, A., & Xu, A. (2016). The Durability of Concrete: A Statistical Review. *Materials Science and Engineering A*, 660, 142-148.
- Sheffi, Y. (1985). *Urban Transportation Networks: Equilibrium Analysis with Mathematical Programming Methods*. Prentice Hall.
- Siddique, R., & Mehta, P. K. (2019). *Durability of Concrete*. Springer, 1-302.
- Small, K. A., & Verhoef, E. T. (2007). *The Economics of Urban Transportation*. Routledge.
- Sperling, D., & Gordon, D. (2009). *Two Billion Cars: Driving Toward Sustainability*. Oxford University Press.
- Sun, H., et al. (2017). Performance of Concrete in Aggressive Environmental Conditions: An Experimental and Statistical Approach. *Cement and Concrete Composites*, 74, 100-107.
- Suryani, E., Chou, S. Y., & Chen, C. H. (2010). Air passenger demand forecasting. *Expert Systems with Applications*.
- Teras, D., Zebua, D., & Fiya. (2023). Proses penapisan terkait amdal pada pembangunan jalan di Desa Bangun Harja. *Jurnal Penelitian Jalan dan Jembatan*, 3(2). <https://doi.org/10.59900/ptrkjj.v3i2.170>
- Thompson, G. L., & Matoff, T. G. (2003). Keeping Up with the Joneses: Radial vs. Multidestination Transit in Decentralizing Regions. *Journal of the American Planning Association*, 69(3), 296-312.
- Tjahjono, B., Zebua, D., & Mita, V. (2023). Analisis kajian literatur risiko keselamatan dan kesehatan kerja (K3) dalam pembangunan gedung bertingkat di Indonesia. *Jurnal Penelitian Jalan dan Jembatan*, 3(2). <https://doi.org/10.59900/ptrkjj.v3i2.168>
- Tjahjono, B., Zebua, D., & Rusnani. (2023). Perbandingan nilai momen pada SpColumn dengan hasil eksperimen. *Jurnal Penelitian Jalan dan Jembatan*, 3(1), 1-7. <https://doi.org/10.59900/ptrkjj.v3i1.130>
- Tung, S. T., et al. (2013). Effects of Environmental Exposure on the Durability of Concrete: A Statistical Study. *Cement and Concrete Composites*, 42, 11-17.
- Uysal, M., & Sumer, M. (2015). The Effect of Temperature on the Mechanical Properties of Concrete. *Journal of Building Materials*, 8(3), 125-130.
- Van Nes, R., & Bovy, P. H. L. (2000). *Design of Multimodal Transport Networks*. Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board, 1735(1), 8-16.
- Vassart, D., et al. (2015). Corrosion Behavior of Steel in High Humidity Environments: Effects on Durability. *Journal of Construction and Building Materials*, 43(4), 1051-1062.
- Vickerman, R. (2000). High-speed rail in Europe. *Annals of Regional Science*.
- Wegener, M. (2004). Overview of Land-Use Transport Models. *Handbook of Transport Geography and Spatial Systems*, 5, 127-146.
- Weng, X., & Zhang, Z. (2017). Statistical Evaluation of Concrete Durability in Coastal Regions. *Journal of Civil Engineering and Management*, 23(8), 1035-1042.
- Wibowo, L. S. B., & Zebua, D. (2021). Analisis Pengaruh Lokasi Dinding Geser Terhadap Pergeseran Lateral Bangunan Bertingkat Beton Bertulang 5 Lantai. *Ge-STRAM: Jurnal Perencanaan Dan Rekayasa Sipil*, 04(01), 16-20. <https://doi.org/10.25139/jprs.v4i1.3490>
- Willson, R. W. (1995). Suburban Parking Requirements: A Tacit Policy for Automobile Use and Sprawl. *Journal of the American Planning Association*, 61(1), 29-42.
- Yao, F., et al. (2019). Statistical Analysis of the Influence of Temperature and Humidity on Concrete Strength. *Construction and Building Materials*, 198, 509-515.
- Zalukhu, A. E., Zebua, D., Lase, C. A., Harefa, F. N., Zebua, F. D., & Loi, A. (2024). Analisis faktor penyebab pembengkakan biaya pada proyek konstruksi. *Jurnal Ilmu Ekonomi, Pendidikan dan Teknik*, 1(1), 38-47. <https://doi.org/10.70134/identik.v1i1.242>
- Zebua, D. (2022). Analisis pushover pada struktur bangunan bertingkat beton bertulang 10 lantai (Master's thesis, Universitas Narotama). Universitas Narotama Repository. <http://repository.narotama.ac.id/id/eprint/1962>
- Zebua, D. (2023). Analisis displacement struktur beton bertulang pada gedung rumah sakit. *Jurnal Penelitian Jalan dan Jembatan*, 3(1), 20-25. <https://doi.org/10.59900/ptrkjj.v3i1.133>
- Zebua, D., & Hasanah, R. (2023). Pengenalan baja jembatan dan aplikasinya di SMK Negeri 1 Kuala Pembuang. *Jurnal Pengabdian Kepada Masyarakat*, 1(01). <https://doi.org/10.59900/pkmtkjj.v1i01.116>
- Zebua, D., & Koespiadi, K. (2022). Pushover analysis of the structure a 10-floor building with ATC-40. *IJTI International Journal of Transportation and Infrastructure*, 5(2), 110-116. <https://doi.org/10.59900/ijti.v5i2.110>
- Zebua, D., & Koespiadi. (2022). Performance evaluation of high-rise building structure based on pushover analysis with ATC-40 method. *Applied Research on*



- Civil Engineering and Environment (ARCEE), 3(02), 54-63. <https://doi.org/10.32722/arcee.v3i02.4334>
- Zebua, D., & Siswanto, I. (2023). Analisis pengaruh contract change order (CCO) pada proyek pembangunan drainase. *Jurnal Penelitian Jalan dan Jembatan*, 3(2). <https://doi.org/10.59900/ptrkjj.v3i2.167>
- Zebua, D., & Wibowo, L. S. B. (2022). Effect of soil type on lateral displacement of reinforced concrete building. *Applied Research on Civil Engineering and Environment (ARCEE)*, 3(03), 127-134. <https://doi.org/10.32722/arcee.v3i03.4965>
- Zebua, D., & Wibowo, L. S. B. (2022). Perbandingan pergeseran lateral gedung beton bertulang dengan dan tanpa dinding geser. *Racic: Rab Construction Research*, 7(1), 11-19. Retrieved from <https://univrab.ac.id>
- Zebua, D., & Wibowo, L. S. B. (2023). Pengaruh jenis tanah terhadap simpangan lateral gedung beton bertulang. *Jurnal Riset dan Pengembangan Sumber Daya*, 6(1), 1-10. <https://doi.org/10.25139/jprs.v6i1.4901>
- Zebua, D., Harita, H., Daeli, S. D., Zalukhu, M. H., & Laia, B. (2024). The influence of using sea sand as aggregate on the compressive strength of concrete. *Innovative Research in Civil and Environmental Engineering*, 1(1), 1-6. <https://doi.org/10.70134/ircee.v1i1.41>
- Zebua, D., Mendrofa, P. S. S., Telaumbanua, F. T., Mendrofa, R. W., & Laoli, P. J. (2024). Analisis statistika keandalan struktural dalam teknik sipil. *Jurnal Ilmu Ekonomi, Pendidikan dan Teknik*, 1(1), 28-37. <https://doi.org/10.70134/identik.v1i1.241>
- Zebua, D., Prayoga, P., & Waruwu, P. C. E. (2023). Evaluasi dan desain pengembangan infrastruktur pengaliran drainase di wilayah Ngagel Tirto Kota Surabaya. *Jurnal Penelitian Jalan dan Jembatan*, 3(1), 26-32. <https://doi.org/10.59900/ptrkjj.v3i1.134>
- Zebua, D., Putra, A. A. S., Wibowo, L. S. B., & Alfiani, S. (2023). Evaluation of seismic performance of hospital building using pushover analysis based on ATC-40. *Journal of Civil Engineering, Science and Technology*, 14(2). <https://doi.org/10.33736/jcest.5326.2023>
- Zebua, D., Shofiyah, A., & Purnomo, H. D. (2023). Analisis desain kinerja model halte berdasarkan lingkungan di tempat terpilih. *Jurnal Penelitian Jalan dan Jembatan*, 3(1), 8-19. <https://doi.org/10.59900/ptrkjj.v3i1.132>
- Zebua, D., Sulistiawati, M., Pratama, A. I., Rifani, R., & Razab, R. S. (2023). Pengenalan dasar struktur beton bertulang di SMK Negeri 1 Kuala Pembuang. *Jurnal Pengabdian Kepada Masyarakat Jalan dan Jembatan*, 1(01), 1-7. <https://doi.org/10.59900/pkmtrkjj.v1i01.117>
- Zebua, D., Wibowo, L. S. B., Cahyono, M. S. D., & Ray, N. (2020). Evaluasi Simpangan Pada Bangunan Bertingkat Beton Bertulang berdasarkan Analisis Pushover dengan Metode ATC-40. *Ge-STRAM: Jurnal Perencanaan Dan Rekayasa Sipil*, 3(2). <https://doi.org/10.25139/jprs.v3i2.2475>
- Zebua, D., Wibowo, L. S. B., Cahyono, M. S. D., & Ray, N. (2020). Analisis pushover pada bangunan bertingkat beton bertulang 7 lantai menggunakan metode FEMA-356. *Seminar Nasional Ilmu Terapan (SNITER) 2020*, 4(1). <https://doi.org/10.59900/ptrkjj.v3i1.133>
- Zebua, D., Wibowo, L. S. B., Rahman, H., & Rifani, R. (2022). Studi pengaruh peranan konsultan manajemen konstruksi pada proyek pembangunan tempat penyimpanan sementara limbah B3. *Jurnal Penelitian Jalan dan Jembatan*, 2(2), 1-8. <https://doi.org/10.59900/ptrkjj.v2i2.81>
- Zhang, L., & Levinson, D. (2004). *Road Pricing*. Edward Elgar Publishing.
- Zhang, L., et al. (2020). Study on the Influence of Different Environmental Factors on Concrete Durability Using a Multivariate Statistical Approach. *Materials*, 13(2), 394.
- Zhang, S., et al. (2018). Experimental Study on the Influence of Temperature and Humidity on Concrete Durability. *Journal of Building Materials*, 21(5), 1067-1075.
- Zhang, W., et al. (2016). Influence of Fly Ash on the Durability of Concrete in Sulfate Environments. *Cement and Concrete Research*, 83, 28-35.
- Zhang, X., et al. (2017). Impact of Climatic Conditions on the Durability of Concrete. *Journal of Materials Science*, 52(10), 6340-6347.
- Zhao, F., & Chien, S. (2001). Optimization of Transit Network to Minimize Transfers. *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board*, 1771(1), 10-16.
- Zhou, Y., et al. (2021). A novel model for traffic flow prediction in large-scale road networks. *Journal of Traffic and Transportation Engineering*.