

BAB I

PENDAHULUAN

1. 1 Latar Belakang

Transportasi memiliki peran yang sangat signifikan dalam pengembangan suatu wilayah karena mempermudah interaksi antar wilayah. Kemudahan interaksi tersebut memberikan dampak positif baik secara ekonomi maupun sosial. Jaringan jalan atau transportasi yang memadai dapat mendorong aktivitas penduduk dalam melakukan berbagai kegiatan sosial dan ekonomi. Hal ini menegaskan bahwa pengembangan jaringan jalan atau transportasi memiliki hubungan timbal balik dengan pertumbuhan ekonomi daerah yang mendukung perkembangan kawasan perkotaan dan pedesaan. Transportasi sendiri dapat diartikan sebagai aktivitas perpindahan atau pengangkutan muatan, baik berupa barang maupun manusia, dari satu lokasi ke lokasi lain, yakni dari titik asal (origin) ke titik tujuan (destination).

Kawasan Mamminasata adalah kawasan perkotaan yang areanya mencakup kota Makassar, Kab. Takalar, kab. Maros dan kab. Gowa Sulawesi Selatan. Perkembangan suatu daerah yang sangat pesat seperti halnya di Kawasan Mamminasata berdampak terhadap perubahan dalam berbagai sistem dari segi ekonomi, sosial, lingkungan dan sebagainya.

Dengan pesatnya pertumbuhan ekonomi di Kawasan Mamminasata, mobilitas orang dan barang juga mengalami peningkatan yang signifikan. Namun, peningkatan mobilitas ini menimbulkan masalah utama berupa tantangan dalam sektor transportasi. Transportasi memiliki peran yang sangat penting dalam mendukung kelancaran aktivitas ekonomi (Bijan Vasigh, 2018). Dengan kata lain, perkembangan ekonomi suatu wilayah harus seimbang dengan pembangunan infrastruktur transportasi yang memadai.

Kemacetan lalu lintas merupakan kondisi terganggunya kelancaran arus kendaraan akibat jumlah kendaraan yang melampaui kapasitas jalan. Dampak kemacetan secara langsung dirasakan oleh pengguna jalan, seperti meningkatnya tingkat stres, pemborosan waktu, serta keterlambatan perjalanan. Sebagai contoh, jarak 15 km yang idealnya dapat ditempuh dalam 30 menit dapat memakan waktu lebih lama jika terjadi kemacetan. Kondisi ini tidak hanya memengaruhi kehidupan masyarakat, tetapi juga berdampak negatif pada pertumbuhan ekonomi suatu wilayah. Oleh karena itu, diperlukan pengelolaan lalu lintas yang lebih baik untuk mengurangi masalah ini (Fadilah Guntur, 2019). Di Kawasan Mamminasata, kemacetan menjadi tantangan utama yang menghambat mobilitas dan aktivitas ekonomi masyarakat.

Kabupaten Maros, yang merupakan bagian dari kawasan metropolitan Mamminasata, memiliki peran strategis dalam mendukung pembangunan Makassar. Sebagai wilayah perlintasan dan pintu gerbang bagian utara Mamminasata, daerah ini menjadi kunci konektivitas antarwilayah. Jalan Poros Makassar–Maros, satu-satunya jalan arteri yang menghubungkan Makassar dengan kabupaten di bagian utara, hampir setiap hari mengalami kemacetan. Titik-titik kemacetan umumnya terjadi di sepanjang jalur dari simpang lima Bandara Sultan Hasanuddin hingga Kota Maros. Kondisi ini menunjukkan adanya gangguan pada jaringan jalan utama yang ditandai dengan

hambatan perjalanan di berbagai titik rawan kemacetan.

Untuk mengatasi masalah tersebut, pemerintah pusat melalui Kementerian PUPR telah memulai pembangunan Jalan Bypass Mamminasata sejak 2015. Namun, proyek ini menghadapi kendala pembebasan lahan. Jalan bypass dengan panjang total sekitar 48,3 km akan menghubungkan Kota Maros hingga Pantai Galesong di Kabupaten Takalar. Hingga Desember 2023, pembangunan segmen I dan II telah mencapai 3,9 km dan ditargetkan selesai pada akhir 2024, sedangkan pembangunan segmen III dan IV hingga Sta. 13.75 direncanakan berlanjut pada 2025. Selain itu, rencana pengembangan jaringan jalan di kawasan ini meliputi pembangunan jalan tol sepanjang pesisir yang berdampingan dengan jalur kereta api (Tol Sutami–Jalan Bypass Mamminasata).

Pemodelan transportasi menjadi langkah awal yang efektif untuk mengatasi berbagai masalah di ruas jalan Mamminasata. Pemodelan ini bertujuan menyederhanakan permasalahan yang kompleks dan memberikan solusi berbasis teknologi. Salah satu perangkat lunak yang digunakan adalah PTV Visum, yang dirancang untuk memodelkan sistem transportasi perkotaan, metropolitan, dan regional, serta mengevaluasi kebijakan transportasi. Keunggulan utama perangkat ini dibandingkan dengan aplikasi lainnya adalah kemampuannya dalam memodelkan transportasi multimoda, baik angkutan pribadi maupun umum, serta menyediakan output grafis yang interaktif (Kučera & Chocholáč, 2021).

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan uraian latar belakang masalah yang telah dijelaskan sebelumnya, penelitian ini merumuskan beberapa permasalahan utama yang akan dibahas, yaitu:

1. Bagaimana kinerja lalu lintas jaringan jalan yang akan datang pada kondisi eksisting (*Do-Nothing*) pada daerah studi ?
2. Bagaimana kinerja lalu lintas jaringan jalan setelah beroperasinya jalan bypass Mamminasata dan Tol Sutami-Maros (*Do-Something*) dalam berbagai skenario pada daerah studi ?

1.3 Tujuan Penelitian

Berdasarkan rumusan masalah yang telah dikemukakan, tujuan dari penelitian ini adalah untuk:

1. Untuk menganalisis kinerja lalu lintas jaringan jalan yang akan datang pada kondisi eksisting (*Do-Nothing*) pada daerah studi.
2. Untuk menganalisis kinerja lalu lintas jaringan jalan setelah beroperasinya jalan bypass Mamminasata dan Tol Sutami-Maros (*Do-Something*) dalam berbagai alternatif pada daerah studi

1.4 Batasan Masalah

Untuk memastikan penelitian ini dapat mencapai tujuan yang diharapkan dan fokus pada pokok bahasan, beberapa batasan penelitian ditetapkan sebagai berikut:

1. Wilayah penelitian difokuskan pada Kawasan Mamminasata.
2. Analisis dilakukan pada ruas jalan primer yang berada di Kawasan

Mamminasata.

3. Pemodelan transportasi dilakukan menggunakan perangkat lunak PTV Visum.
4. Dampak perubahan tata guna lahan terhadap jumlah pergerakan tidak diperhitungkan.
5. Penelitian ini tidak mencakup analisis karakteristik tujuan perjalanan yang berasal dari zona eksternal.
6. Indikator kinerja jaringan jalan yang digunakan sebagai tolak ukur adalah v/c ratio.
7. Prediksi kinerja lalu lintas dilakukan berdasarkan tingkat pertumbuhan penduduk.

1.5 Manfaat Penelitian

Hasil penelitian ini diharapkan memberikan manfaat yang signifikan, baik bagi peneliti maupun pembaca secara umum. Secara rinci, manfaat penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Memberikan informasi mengenai kinerja lalu lintas jaringan jalan pada kondisi eksisting (*Do-Nothing*) di wilayah studi.
2. Menghasilkan informasi mengenai kinerja lalulintas jaringan jalan setelah beroperasinya jalan bypass Mamminasata dan Tol Sutami-Maros (*Do-Something*) dalam berbagai alternatif pada daerah studi

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2. 1 Perencanaan dan Permodelan Tranportasi

Sistem transportasi terdiri dari dua komponen utama yang saling berkaitan, yaitu obyek transportasi yang mencakup manusia dan barang sebagai entitas yang bergerak, serta fasilitas transportasi yang meliputi sarana dan prasarana yang digunakan untuk mendukung pergerakan tersebut. Secara keseluruhan, sistem transportasi berfungsi sebagai upaya manusia dalam memenuhi kebutuhan hidupnya, yaitu untuk memindahkan barang dan/atau orang dari satu tempat ke tempat lain secara efisien, cepat, tepat, lancar, aman, nyaman, ekonomis, dan ramah lingkungan. Dalam sistem transportasi ini terdapat dua elemen yang sangat penting dan saling mempengaruhi, yaitu demand dan supply. Demand mengacu pada kebutuhan akan transportasi yang tercermin dalam jumlah perjalanan yang terjadi, sedangkan supply merujuk pada sarana dan prasarana yang tersedia untuk memenuhi kebutuhan perjalanan tersebut.

Pada wilayah perkotaan atau regional yang memiliki jumlah penduduk yang besar, apabila sistem transportasi yang ada tidak direncanakan dan dikelola dengan baik, hal ini dapat menimbulkan berbagai permasalahan yang berdampak pada kelancaran mobilitas. Penyebab utama dari permasalahan transportasi tersebut adalah ketidakseimbangan antara demand dan supply, di mana pertumbuhan demand yang terus meningkat sering kali tidak diimbangi dengan penambahan kapasitas supply. Ketidakseimbangan ini, misalnya, dapat berupa meningkatnya jumlah kendaraan yang melebihi kapasitas jalan yang ada, yang kemudian berujung pada kemacetan, peningkatan waktu tempuh, dan gangguan pada kelancaran pergerakan barang dan orang. Oleh karena itu, untuk mengatasi permasalahan ini, sangat penting untuk merancang dan mengimplementasikan sistem transportasi yang efektif, yang dapat mengoptimalkan penggunaan sarana dan prasarana yang ada serta mengantisipasi kebutuhan transportasi di masa depan.

Pendekatan yang dapat digunakan untuk memecahkan permasalahan transportasi ini adalah dengan merancang sistem transportasi yang terpadu, berkesinambungan, dan berbasis pada perencanaan yang matang. Tujuan utama dari perencanaan transportasi adalah untuk memperkirakan kebutuhan transportasi di masa depan, baik dalam hal jumlah maupun lokasi pergerakan, sehingga dapat diketahui berapa banyak dan jenis transportasi apa yang dibutuhkan di suatu wilayah. Perencanaan ini tidak hanya melibatkan estimasi total pergerakan untuk angkutan umum maupun pribadi, tetapi juga digunakan sebagai dasar untuk merumuskan kebijakan investasi yang tepat dalam pembangunan dan pengelolaan sistem transportasi yang akan datang, agar sistem yang dibangun dapat berjalan secara optimal dan sesuai dengan kebutuhan masyarakat serta dapat mengatasi berbagai masalah transportasi yang mungkin timbul..

Pendekatan pemecahan masalah transportasi dilakukan dengan mengembangkan sistem transportasi yang terpadu dan berkesinambungan, dengan tujuan utama memperkirakan kebutuhan transportasi di masa depan, baik untuk

angkutan umum maupun pribadi, dan menentukan kebijakan investasi yang diperlukan dalam pembangunan serta pengelolaan sistem transportasi. Perencanaan sistem transportasi dibagi dalam skala waktu panjang, menengah, dan pendek. Perencanaan jangka panjang, yang biasanya mencakup periode 25 tahun, digunakan untuk strategi pembangunan kota berjangka panjang, yang dipengaruhi oleh perencanaan tata guna lahan dan perkiraan arus lalu lintas. Sementara itu, perencanaan jangka pendek, dengan periode lima tahun, lebih fokus pada kajian manajemen transportasi yang menekankan dampak kebijakan lalu lintas terhadap perubahan rute moda transportasi, dan lebih bersifat teknis karena dampak tata guna lahan dalam waktu singkat tidak begitu signifikan.

Proses perencanaan sistem transportasi memerlukan penggunaan model untuk menganalisis sistem transportasi yang sudah ada maupun yang akan datang. Model, dalam hal ini, dapat dipahami sebagai penyederhanaan dari realitas atau kondisi dunia nyata (Yan J, 2020), di mana model tersebut hanya memperhatikan faktor-faktor yang dominan untuk memecahkan masalah yang ada, dengan fokus pada elemen-elemen yang paling signifikan (Ortuzar, J.D., dan Willumsen, 2001). Salah satu konsep perencanaan transportasi yang telah berkembang dan paling populer adalah Model Perencanaan Transportasi Empat Tahap. Model ini terdiri dari serangkaian proses bertahap yang dilakukan secara terpisah dan berurutan (sequential). Empat tahap utama dalam model ini adalah:

1. Trip Generation (Model Bangkitan-Tarikan Perjalanan),
2. Modal Split (Pemilihan Moda),
3. Trip Distribution (Model Sebaran Perjalanan),
4. Trip Assignment (Pemilihan Rute).

Dalam pembuatan model perencanaan transportasi, data yang dikumpulkan dari suatu daerah kajian menjadi dasar penting yang mempengaruhi keberhasilan estimasi kebutuhan transportasi. Beberapa faktor yang memengaruhi keberhasilan model ini antara lain penentuan zona dan jumlah sampel yang digunakan. Model Perencanaan Transportasi Empat Tahap merupakan kombinasi dari berbagai konsep analitis dan submodel yang harus diterapkan secara terpisah dan berurutan. Submodel-submodel tersebut meliputi:

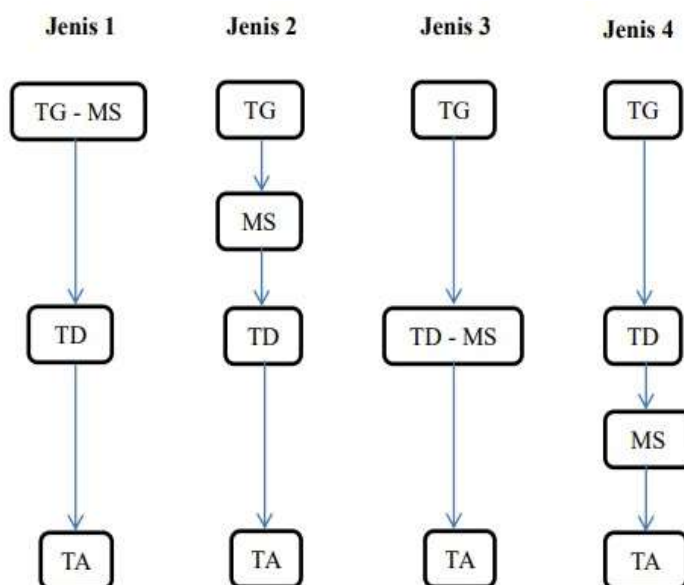
1. Aksesibilitas
2. Bangkitan dan Tarikan Pergerakan (Trip Production and Attraction).
3. Sebaran Pergerakan (Trip Distribution).
4. Pemilihan Moda (Modal Split).
5. Pemilihan Rute (Trip Assignment)
6. Arus Lalu Lintas pada Jaringan Transportasi.

Aksesibilitas (konsep 1) merupakan ukuran yang menggambarkan kemudahan atau kesulitan dalam mencapai suatu lokasi melalui sistem jaringan transportasi, yang mencerminkan sejauh mana dua lokasi atau guna lahan dapat berinteraksi satu sama lain (Black, 1981). Meskipun aksesibilitas tidak selalu dianggap sebagai bagian integral dari keseluruhan sistem transportasi, konsep ini sangat berguna sebagai alat untuk mengidentifikasi masalah serta mengevaluasi berbagai alternatif dalam perencanaan transportasi. Sedangkan arus lalu lintas pada jaringan jalan (konsep 6) mencakup

elemen yang terintegrasi dalam beberapa tahapan yang berbeda, yang berkaitan dengan distribusi dan pemilihan rute lalu lintas di jaringan transportasi.

Konsep 2 hingga konsep 5 (bangkitan pergerakan, sebaran pergerakan, pemilihan moda, dan pemilihan rute) merupakan bagian utama dalam model kajian transportasi, yang harus dilakukan secara berurutan.

Urutan pengkajian ini memiliki beberapa variasi, yang penerapannya sangat bergantung pada kondisi di lapangan, ketersediaan data (baik kuantitas maupun kualitas), waktu yang tersedia untuk perencanaan, dan faktor-faktor lainnya. Berbagai alternatif urutan dalam pemodelan ini dapat dilihat pada Gambar 1. Variasi dalam urutan ini muncul karena pemilihan moda sangat bervariasi dan bergantung pada tujuan dari pemodelan transportasi itu sendiri. Penggunaan setiap alternatif urutan tersebut akan disesuaikan dengan data yang tersedia, tujuan kajian, serta waktu yang diberikan untuk kajian tersebut. Empat variasi urutan utama dalam pemodelan transportasi menurut Black (1981) adalah sebagai berikut:



Gambar 1 : Empat Variasi Urutan Konsep Pemodelan Transportasi

Sumber: Black, 1981.

Keterangan:

TG = Trip Generation (Model Bangkitan Perjalanan)

MS = Moda Split (Pemilihan Moda)

TD = Trip Distribution (Model Sebaran Perjalanan)

TA = Trip Assignment (Model Pemilihan Rute)

1. Model Bangkitan Pergerakan

Tahapan bangkitan pergerakan bertujuan untuk memperoleh jumlah pergerakan yang dibangkitkan dari setiap zona asal (O_i) dan jumlah pergerakan yang tertarik ke setiap zona tujuan (D_d) di daerah kajian. Proses estimasi pada tahapan ini biasanya

menggunakan data yang diperoleh dari survei rumah tangga (home interview survey) yang menjadi dasar untuk mengidentifikasi zona asal dan zona tujuan pergerakan dalam daerah kajian. Beberapa metode yang digunakan dalam perhitungan bangkitan pergerakan adalah analisis regresi dan klasifikasi silang (cross classification) (Ortuzar, J.D. dan Willumsen, 2001). Hasil akhir dari model ini adalah bangkitan pergerakan (trip generation) dan tarikan pergerakan (trip attraction).

2. Model Sebaran Pergerakan

Tahapan sebaran pergerakan bertujuan untuk mendistribusikan atau mengalokasikan jumlah pergerakan yang dibangkitkan dari zona asal atau yang tertarik ke zona tujuan. Sebaran pergerakan ini menggambarkan arus pergerakan (kendaraan, penumpang, dan barang) yang bergerak dari zona asal ke zona tujuan dalam waktu tertentu. Pola pergerakan ini disajikan dalam bentuk Matriks Asal-Tujuan (MAT) yang digunakan oleh perencana transportasi untuk menggambarkan pola pergerakan.

3. Model Pemilihan Moda

Model pemilihan moda bertujuan untuk mengetahui proporsi orang yang akan menggunakan setiap moda transportasi. Proses ini dilakukan untuk mengkalibrasi pemilihan moda pada tahun dasar dengan memperhatikan atribut-atribut yang mempengaruhi pilihan moda tersebut (Tamin Ofyar, 2000). Setelah kalibrasi, model ini dapat digunakan untuk meramalkan pemilihan moda di masa mendatang dengan menggunakan nilai atribut yang relevan.

4. Model Pemilihan Rute

Model pemilihan rute bertujuan untuk mengidentifikasi rute yang dipilih oleh pengemudi dari zona asal ke zona tujuan serta perjalanan yang melalui setiap ruas jalan dalam jaringan jalan. Hasil identifikasi rute yang dipilih pengemudi akan digunakan untuk pembebanan arus pada setiap ruas jalan dalam jaringan transportasi daerah kajian. Model pemilihan rute memiliki beberapa tipe, seperti all-or-nothing, incremental loading, equilibrium, dan lainnya (Suprayitno, 2016).

2. 2 Model Sebaran Perjalanan

Sebaran pergerakan adalah bagian penting dalam perencanaan transportasi yang berfokus pada pergerakan antar zona. Hasil dari tahap ini adalah Matriks Asal-Tujuan (MAT), yang menggambarkan pola pergerakan dari satu zona ke zona lain. Tujuan utama dari pemodelan sebaran pergerakan adalah mengkalibrasi persamaan-persamaan yang dapat menghasilkan hasil observasi lapangan terkait pola pergerakan asal tujuan.

Distribusi lalu lintas dipengaruhi oleh dua faktor utama yang berkaitan erat dengan tata guna lahan dan sistem transportasi. Pertama, lokasi dan intensitas tata guna lahan yang menghasilkan lalu lintas, dan kedua, spatial separation, yaitu interaksi antara dua tata guna lahan yang menghasilkan pergerakan manusia dan/atau barang. Tata guna lahan akan cenderung menarik lalu lintas dari tempat yang lebih dekat dibandingkan dengan tempat yang jauh. Dalam hal ini, transportasi berfungsi untuk

mengatasi permasalahan jarak, sehingga perjalanan tetap terjadi meskipun ada jarak yang lebih jauh antar tata guna lahan.

Menurut Tamin Ofyar (2000), terdapat beberapa prosedur matematis yang telah dikembangkan untuk model distribusi lalu lintas, yang secara umum dapat dikelompokkan menjadi dua metode utama dalam pemodelan sebaran pergerakan.

A. Metode Analogi

Pada metode analogi, suatu nilai tingkat pertumbuhan digunakan untuk memproyeksikan pergerakan pada masa depan berdasarkan pergerakan yang terjadi pada saat ini. Metode ini mengasumsikan bahwa pola pergerakan yang ada sekarang dapat diterapkan pada masa yang akan datang, dengan mempertimbangkan faktor pertumbuhan zona. Secara umum, metode ini dapat digambarkan dengan persamaan sebagai berikut:

$$Tid = tid \times E \dots \dots \dots (2.1)$$

dimana :

$Tid = \Sigma$ pergerakan dari zona i ke zona d pada masa yang akan datang.

$Tid = \Sigma$ pergerakan dari zona i ke zona d pada saat sekarang.

E = faktor pertumbuhan.

Metode analogi menggunakan faktor pertumbuhan (E) yang dapat berupa faktor tunggal atau kombinasi beberapa faktor. Faktor ini diturunkan dari data tentang tata guna lahan dan proyeksi bangkitan pergerakan, dan dapat dihitung baik untuk seluruh daerah kajian maupun untuk zona-zona tertentu di dalamnya. Setelah perhitungan dilakukan, hasilnya diterapkan pada matriks asal tujuan (MAT) untuk daerah kajian, yang menggambarkan pola pergerakan yang akan terjadi di masa mendatang.

Secara kronologis, terdapat lima model yang digunakan dalam metode ini (Tamin Ofyar, 2000), yaitu:

- Metode Seragam (Uniform Method): Mengasumsikan bahwa pola pergerakan akan berkembang secara seragam di seluruh daerah kajian.
- Metode Rata-rata (Average Method): Menggunakan rata-rata dari pergerakan yang terjadi pada saat sekarang untuk memproyeksikan pergerakan masa depan.
- Metode Fratar: Metode ini digunakan untuk mendistribusikan pergerakan dari zona asal ke zona tujuan, mengoptimalkan distribusi menggunakan faktor pertumbuhan.
- Metode Detroit: Metode yang digunakan untuk memperbaiki distribusi lalu lintas berdasarkan model pertumbuhan yang lebih realistis.
- Metode Furness: Merupakan metode iteratif yang digunakan untuk memperkirakan distribusi lalu lintas, dengan memperhatikan perubahan distribusi yang lebih akurat.
- Metode Analogi Fluida: Menggunakan analogi dengan aliran fluida untuk mendistribusikan lalu lintas, memodelkan pergerakan kendaraan atau orang sebagai fluida yang mengalir melalui jaringan.

B. Metode Sintesis Beberapa

Metode sintesis dikembangkan sebagai alternatif untuk mengatasi kelemahan

metode analogi, dengan berfokus pada pemahaman alasan terjadinya pergerakan di masa sekarang dan menggunakan hukum alam sebagai analogi. Dalam metode sintesis, pergerakan antara zona asal dan tujuan dipengaruhi oleh faktor-faktor seperti besarnya bangkitan pergerakan di zona asal, tarikan pergerakan di zona tujuan, dan jarak antara kedua zona tersebut. Prinsip dasar dari metode ini adalah bahwa pergerakan berbanding lurus dengan besarnya bangkitan dan tarikan serta berbanding terbalik dengan jarak antara zona-zona tersebut.

Dalam penerapannya, metode sintesis bertujuan untuk memodelkan hubungan antar pola pergerakan dan kemudian memproyeksikan pola tersebut untuk masa mendatang. Metode ini biasanya bergantung pada satu atau lebih parameter. Berikut adalah beberapa model dalam metode sintesis:

1. Gravity Model (GR): Merupakan model yang mengasumsikan bahwa pergerakan antar zona berbanding lurus dengan kekuatan bangkitan dan tarikan serta berbanding terbalik dengan jarak antara zona. Model ini memiliki beberapa variasi, antara lain:
 - Unconstrained Gravity (UCGR): Model dasar tanpa pembatas.
 - Singly Constrained Gravity (SCGR): Memperkenalkan pembatasan pada salah satu variabel, baik pada bangkitan atau tarikan.
 - Production Constrained Gravity (PCGR): Pembatasan pada faktor bangkitan pergerakan di zona asal.
 - Attraction Constrained Gravity (ACGR): Pembatasan pada faktor tarikan pergerakan di zona tujuan.
 - Doubly Constrained Gravity (DCGR): Pembatasan pada kedua faktor, yaitu bangkitan dan tarikan.
2. Opportunity Model (OP): Model ini berfokus pada peluang pergerakan yang tersedia di zona asal dan tujuan, dengan mempertimbangkan berbagai kesempatan yang ada untuk masing-masing zona.
3. Gravity Opportunity Model (GO): Kombinasi antara model gravitasi dan peluang, yang memperhitungkan baik kekuatan gravitasi antar zona maupun peluang yang ada di masing-masing zona.
4. Direct-Demand Model (DD): Model yang secara langsung mengestimasi permintaan perjalanan berdasarkan data yang ada, tanpa memperhitungkan faktor-faktor lain yang kompleks.

2.2.1. Matriks Asal – Tujuan (MAT)

Matriks Asal-Tujuan (MAT) adalah matriks berdimensi dua yang berisi informasi mengenai besarnya pergerakan antar lokasi (zona) di dalam daerah tertentu. Baris matriks mewakili zona asal, sedangkan kolom mewakili zona tujuan. Setiap sel dalam matriks menunjukkan besarnya arus pergerakan (kendaraan, penumpang, atau barang) dari zona asal ke zona tujuan selama periode tertentu. Notasi T_{id} digunakan untuk menyatakan besarnya arus pergerakan dari zona asal i ke zona tujuan d .

Tabel 1 Bentuk Umum Dari Matriks Asal Tujuan (MAT)

Zona	1	2	3	...	N	O_i
1	T_{11}	T_{12}	T_{13}	...	T_{1N}	O_1
2	T_{21}	T_{22}	T_{23}	...	T_{2N}	O_2
3	T_{31}	T_{32}	T_{33}	...	T_{3N}	O_3
...	...	...	...	...	...	...
N	T_{N1}	T_{N2}	T_{N3}	...	T_{NN}	O_N
D_d	D_1	D_2	D_3	...	D_N	T

Pada sebuah matriks asal-tujuan (MAT) yang dibuat, terdapat beberapa syarat yang harus dipenuhi seperti total sel matriks untuk setiap kolom (d) harus sama dengan jumlah pergerakan yang berasal dari zona d tersebut (D_d), sebaliknya total sel matriks untuk setiap baris (i) harus sama dengan jumlah pergerakan yang berasal dari zona i tersebut (O_i). hal ini sesuai dengan hukum konservasi yang harus dipenuhi oleh setiap model sebaran pergerakan atau trip distribution model sebagai berikut :

1. Jumlah dari seluruh trip antara zona i dan zona d untuk seluruh zona asal adalah sama dengan jumlah total atraksi ke zona d.

$$D_d = \sum_i T_{id} \quad (2.2)$$

Keterangan :

D_d = Total pergerakan ke zona tujuan d

T_{id} = Jumlah pergerakan dari zona asal ke tujuan d

i = Zona asal

2. Jumlah dari seluruh trip antara zona i dan d untuk seluruh zona tujuan d adalah sama dengan jumlah total produksi dari zona i.

$$O_i = \sum_d T_{id} \quad (2.3)$$

Keterangan :

O_i = Total pergerakan dari zona ke i

T_{id} = Jumlah pergerakan dari zona asal ke tujuan d

d = Zona Tujuan

3. Jumlah dari seluruh trip zona i dan zona d untuk semua i dan zona d adalah sama dengan jumlah total trip diseluruh daerah studi, yang mana sama dengan jumlah total atraksi diseluruh zona tujuan dan sama dengan jumlah total produksi diseluruh zona asal.

$$T = \sum_i O_i = \sum_d D_d = \sum_i \sum_d T_{id} \quad (2.4)$$

Keterangan :

D_d = Total pergerakan ke zona tujuan d

T_{id} = Jumlah pergerakan dari zona asal ke tujuan d

i = Zona asal

O_i = Total pergerakan dari zona ke i

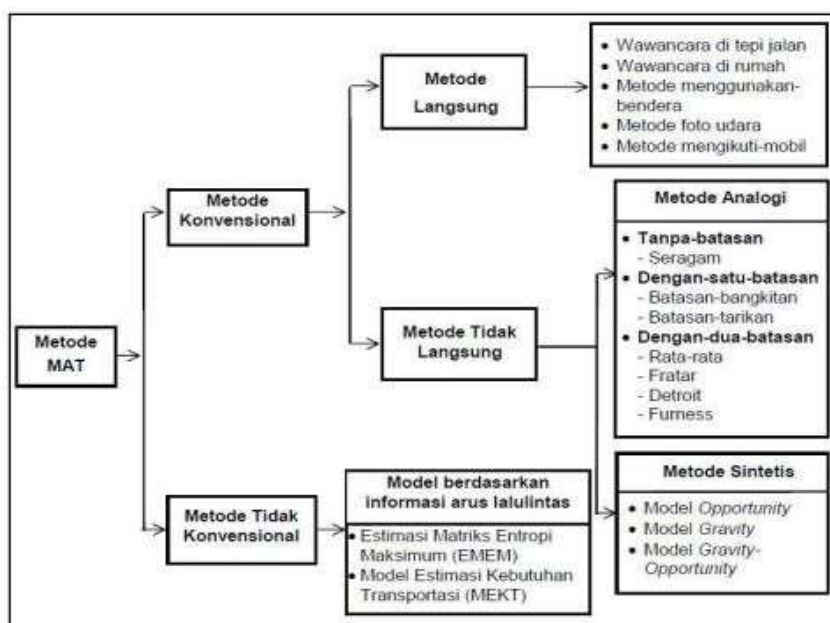
T_{id} = Jumlah pergerakan dari zona asal ke tujuan d

d = Zona Tujuan

Pergerakan dalam suatu sistem jaringan transportasi dapat dianalisis melalui penerapan MAT (Matrix Aksesibilitas Transportasi). Dengan mempelajari pola pergerakan ini, masalah yang muncul dapat diidentifikasi, dan solusi-solusi potensial dapat segera ditemukan. MAT memberikan gambaran yang mendetail tentang kebutuhan pergerakan, sehingga memiliki peran krusial dalam berbagai studi perencanaan dan manajemen transportasi.

Jumlah zona dan nilai pada setiap sel dalam matriks merupakan dua elemen utama dalam MAT, karena jumlah zona menggambarkan banyaknya sel yang harus dihitung dan mengandung informasi penting untuk perencanaan transportasi. Setiap sel memerlukan data terkait jarak, waktu, biaya, atau kombinasi dari ketiganya yang digunakan untuk mengukur aksesibilitas (kemudahan).

Untuk memperoleh MAT, terdapat beberapa metode yang dapat digunakan, yang terbagi dalam dua kategori utama: metode konvensional dan metode non-konvensional (Tamin Ofyar, 2000). Penjelasan dari kedua metode tersebut dapat dilihat pada Gambar 2.



Gambar 2 Metode Untuk Mendapatkan Matriks Asal-Tujuan (MAT).

Sumber : Tamin (1985, 1986, 1988abc) dalam (Tamin Ofyar, 2000)

2.2.2. Model Gravity

Salah satu model yang sering digunakan untuk memperkirakan sebaran pergerakan adalah model gravitasi. Model ini memiliki beberapa kelebihan secara teori dan praktis, karena sangat sederhana dan mudah dipahami serta diterapkan. Model gravitasi ini didasarkan pada konsep gravitasi yang pertama kali diperkenalkan oleh Newton pada tahun 1686, yang kemudian dikembangkan dengan analogi dari hukum gravitasi.

Metode ini mengasumsikan bahwa faktor-faktor yang mempengaruhi pergerakan berasal dari beberapa parameter zona asal, seperti populasi, dan nilai pada setiap sel MAT, yang juga berkaitan dengan aksesibilitas (kemudahan), sebagai fungsi dari jarak, waktu, maupun biaya. Newton menjelaskan bahwa gaya tarik atau tolak antara dua massa berbanding lurus dengan massa masing-masing (m_1 dan m_2), serta berbanding terbalik dengan kuadrat jarak (d_{ij}) antara kedua massa tersebut, yang dapat digambarkan dengan rumus:

$$F_{id} = G m_i \times m_j / (d_{ij})^2 \text{ dengan } G \text{ adalah konstanta gravitasi (2.5)}$$

Dalam ilmu geografi, gaya dapat dianggap sebagai pergerakan antara dua wilayah, sementara massa dapat digantikan oleh variabel seperti populasi atau faktor yang mempengaruhi bangkitan dan tarikan pergerakan. Jarak, waktu, dan biaya digunakan sebagai ukuran aksesibilitas (kemudahan). Oleh karena itu, untuk aplikasi dalam bidang transportasi, model gravitasi dapat dinyatakan sebagai berikut :

1. **Pallin (1973) dalam Stopher (1975)**, menerapkan analogi hukum gravitasi ini, dimana massa diganti dengan peubah populasi sehingga Persamaan 2.5 dapat ditulis sebagai berikut :

$$T_{ij} = K P_i \times P_j / (d_{ij})^n \text{ (2.6)}$$

Dimana :

- T_{ij} = Pergerakan satu arah dari i ke j
- P_i, P_j = Populasi dari zona i dan j
- d_{ij} = Jarak antara zona i dan zona j
- K, n = Konstanta

2. Taaffe (1996), memperkenalkan perumusan untuk gravity model sebagai berikut :

$$a. T_{ij} = A_0 (P_i \times P_j) A_1 (d_{ij}) A_2 \text{ (2.7)}$$

$$b. T_{ij} = A_0 P_i A_1 \times P_j A_2 (d_{ij}) A_3 \text{ (2.8)}$$

Dimana :

- T_{ij} = Pergerakan satu arah dari i ke j
- P_i, P_j = Populasi dari zona i dan j
- d_{ij} = Jarak antara zona i dan zona j
- A_0, A_1, A_2, A_3 = Konstanta

3. **Tamin (2000)**, menerapkan analogi hukum gravitasi dimana, massa digantikan dengan peubah bangkitan dan tarikan pergerakan, sehingga Persamaan 2.5 dapat ditulis sebagai berikut :

$$T_{id} = K O_i \times O_d (d_{id})^n \text{ (2.9)}$$

Dimana :

- T_{id} = Pergerakan dari zona asal i ke zona tujuan d
- O_i = Jumlah pergerakan yang berasal dari zona i

Od = Jumlah pergerakan yang menuju ke zona d
 did = Ukuran aksesibilitas antara zona i dan zona d
 K = Konstanta

Dalam bentuk matematis, persamaan 2.9 dapat dinyatakan sebagai :

$$Tid \approx Oi . Dd . f(Cid) \dots\dots\dots(2.10)$$

Dengan batasan :

$$Oi = i \text{ Tid dan } Dd = i \text{ Tid} \dots\dots\dots(2.11)$$

Oi dan Dd menyatakan jumlah pergerakan yang berasal dari zona i dan berakhir di zona d. Oleh karena itu, penjumlahan sel MAT menurut “baris” menghasilkan total pergerakan yang berasal dari tiap zona, sedangkan penjumlahan menurut “kolom” menghasilkan total pergerakan yang menuju setiap zona.

Pengembangan Persamaan 2.10 dengan batasan Persamaan (2.11) menghasilkan Persamaan 2.12 sebagai berikut :

$$Tid = Oi . Dd . Ai . Bd . f(Cid) \dots\dots\dots(2.12)$$

Kedua persaman 2.11 dapat dipenuhi jika digunakan konstanta Ai dan Bd yang terkait dengan setiap zona bangkitan dan tarikan. Konstanta ini disebut faktor penyeimbang :

$$Ai = 1/\sum d B d . D d . f i d \text{ dan } B d = 1/\sum i A i . O i . f i d \dots\dots\dots(2.13)$$

Sedangkan f(Cid) merupakan fungsi hambatan atau hambatan transportasi yang dianggap sebagai ukuran aksesibilitas (kemudahan) antara zona i dengan zona d.

Persamaan Ai dan Bd didapatkan secara berulang-ulang dan dapat dengan mudah dicek bahwa Tid pada Persamaan 2.10 sudah memenuhi batasan Persamaan 2.11. Nilai Bd dapat dihitung untuk setiap d dengan menggunakan Persamaan 2.11, yang nilainya kemudian digunakan lagi untuk menghitung kembali nilai Ai. Proses ini diulangi sampai nilai Ai dan Bd menghasilkan nilai tertentu (konvergen).

2.2.3. Model *Doubly Constrained Gravity Model* (DCGR)

Model DCGR, dalam hal ini bangkitan dan tarikan pergerakan harus selalu sama dengan yang dihasilkan oleh tahap bangkitan pergerakan. Model yang digunakan persis sama dengan persamaan (2.11), tetapi dengan syarat batas :

$$B_d = \frac{1}{\sum_i (A_i O_i f_{id})} \text{ untuk semua } d \dots\dots\dots(1)$$

dan

$$A_i = \frac{1}{\sum_d (B_d D_d f_{id})} \text{ untuk seleruh } i \dots\dots\dots(2)$$

Dimana :

Fid = Gaya tarik atau tolak antara dua kutub massa bebanding lurus dengan massanya.

Fungsi Hambatan sangat penting untuk diketahui adalah $f(d)$ harus dianggap sebagai ukuran aksesibilitas (kemudahan) antar zona i dengan zona d ,

$$f(d) = C_{id}^{-\beta} C_{id} \quad (\text{Fungsi eksponensial-negatif}) \dots\dots\dots(3)$$

Dimana :

- $f(d)$ = Fungsi eksponensial-negatif
- C_{id} = Jarak perjalanan dari zona asal i ke zona tujuan d
- $-\beta$ = Fungsi eksponensial-negatif

2.3 Model Pemilihan Rute

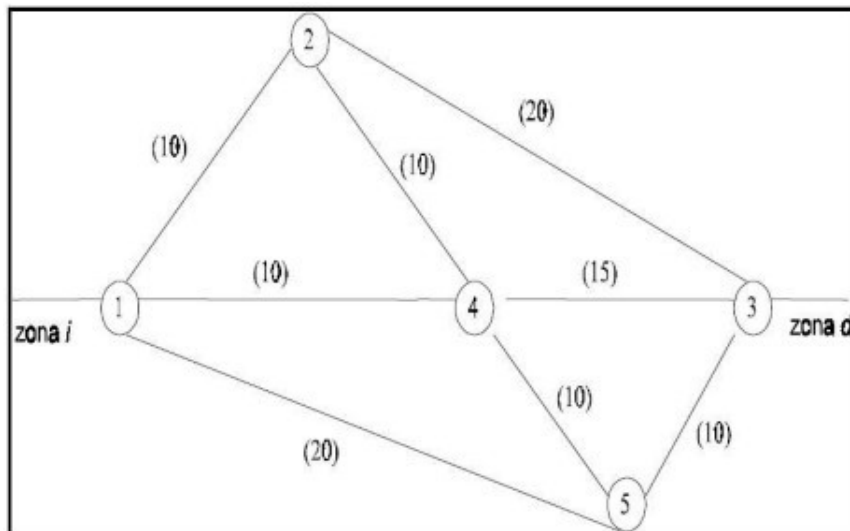
Model harus dapat menggambarkan karakteristik sistem transportasi serta salah satu asumsi terkait pemilihan rute oleh pengguna jalan. Terdapat tiga asumsi utama yang dapat digunakan untuk menghasilkan berbagai jenis model yang berbeda.

2.3.1. Pembebanan All-or-nothing

Model ini adalah model pemilihan rute yang paling sederhana, yang mengasumsikan bahwa semua pengendara berusaha meminimalkan biaya perjalanan mereka, yang tergantung pada karakteristik jaringan jalan dan asumsi mengenai pengendara. Jika semua pengendara memperkirakan biaya perjalanan dengan cara yang sama, maka mereka akan memilih rute yang identik. Biaya perjalanan ini dianggap konstan dan tidak dipengaruhi oleh efek kemacetan.

Metode ini mengasumsikan bahwa setiap perjalanan dari zona asal i ke zona tujuan d akan mengikuti rute tercepat. Dalam beberapa kasus, asumsi ini dianggap cukup realistis, seperti di daerah pinggiran kota dengan jaringan jalan yang tidak begitu padat dan tingkat kemacetan yang rendah. Namun, asumsi ini menjadi kurang realistis jika diterapkan pada daerah perkotaan yang sering menghadapi kemacetan.

Gambar 3 (Black, 1981) menggambarkan metode pembebanan all-or-nothing (angka pada setiap ruas menunjukkan waktu tempuh dalam menit untuk ruas tersebut). Dari gambar ini, dapat dilihat bahwa rute tercepat dari zona i ke zona d adalah 1-4-3. Rute tercepat dari zona i ke zona lainnya dalam area kajian dapat ditentukan, dan kumpulan rute tersebut dikenal dengan sebutan pohon rute dari zona i .



Gambar 3 Jaringan Sederhana dan Waktu Tempuh Ruas.

Sumber : (Black, 1981).

Metode all-or-nothing kurang disukai oleh para perencana karena keterbatasannya; metode ini biasanya hanya digunakan untuk menunjukkan garis keinginan, seperti rute yang akan dipilih pengendara jika tidak ada kemacetan. Meskipun demikian, metode ini dapat digunakan sebagai dasar untuk mengembangkan model pemilihan rute lainnya, seperti metode pembebanan keseimbangan dan stokastik.

2.3.2. Equilibrium Assignment

Model ini adalah model pemilihan rute yang sering digunakan oleh pengendara, dengan asumsi bahwa semua pengendara berusaha meminimalkan jarak perjalanan. Dengan memilih rute yang lebih pendek, pengendara dapat mengurangi penggunaan bahan bakar meskipun ada titik kemacetan di sepanjang jalan yang mereka tempuh.

Metode ini menganggap bahwa setiap perjalanan dari zona asal *i* ke zona tujuan *d* akan mengikuti rute terpendek. Dalam beberapa kondisi, asumsi ini bisa dianggap realistis, seperti untuk perjalanan dari pinggiran kota menuju pusat kota, di mana pemilihan rute terpendek dapat mengurangi waktu dan biaya perjalanan.

Dalam konteks pemilihan rute, asumsi dasar di atas telah dibahas secara singkat oleh Wardrop (1952). Dalam tulisannya, Wardrop mengemukakan dua perilaku intuitif yang menjelaskan bagaimana lalu lintas dapat didistribusikan ke dalam rute-rute yang dikenal dengan Prinsip Wardrop Equilibrium. Kedua prinsip tersebut adalah:

1. "Under equilibrium condition, traffic arranges itself in congested networks in such a way that no individual trip maker can reduce his path cost by switching routes."
2. "Under social equilibrium condition, traffic should be arranged in congested networks in such a way that average (or total) travel is minimized."

Dari prinsip Wardrop pertama, dapat disimpulkan bahwa dalam kondisi keseimbangan, tidak ada pengguna jalan yang dapat mengubah rute untuk mendapatkan

biaya perjalanan yang lebih murah, karena semua rute yang tidak digunakan memiliki biaya perjalanan yang sama atau lebih besar daripada rute yang dipilihnya. Dengan demikian, dapat dikatakan bahwa sistem tersebut mencapai kondisi seimbang menurut pandangan pengguna, yang dikenal dengan istilah user's equilibrium. Secara matematis, prinsip ini dapat dinyatakan sebagai berikut:

$$c_{pij} \begin{cases} = c_{ij}^* & \text{untuk seluruh } T_{pij}^* > 0 \\ \geq c_{ij}^* & \text{untuk seluruh } T_{pij}^* = 0 \end{cases} \dots\dots\dots(1)$$

Dimana :

- Cij = Biaya Minimum dari i ke j.
- Tpij = Arus pada Lintasan yang Memenuhi Prinsip Wardrop pertama dan semua biaya dihitung setelah
- Tpij = Dibebani

Dalam hal ini arus pada lintasan a dihasilkan dari rumusan berikut :

$$V_a = \sum_{pij} \delta_{pij}^a T_{pij} \dots\dots(2)$$

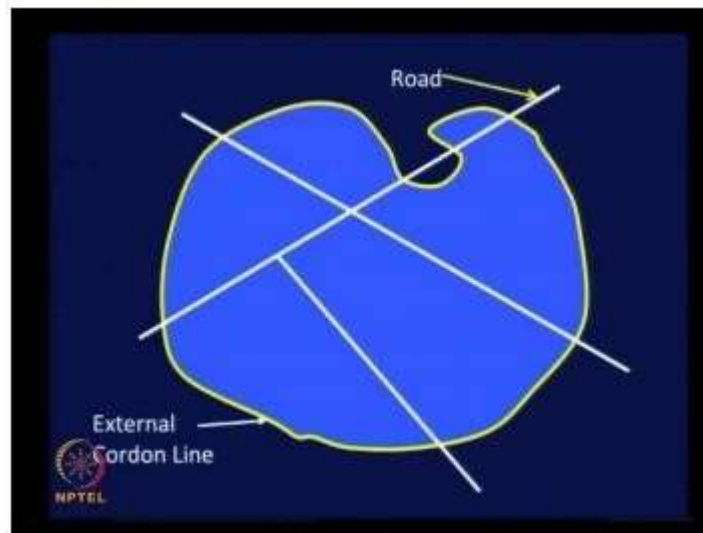
Dimana :

$$\delta_{pij}^a = \begin{cases} 1 & \text{jika ruas a berada pada lintasan p dari i ke j} \\ 0 & \text{lainnya} \end{cases}$$

2. 4 Daerah Studi (Garis batas wilayah)

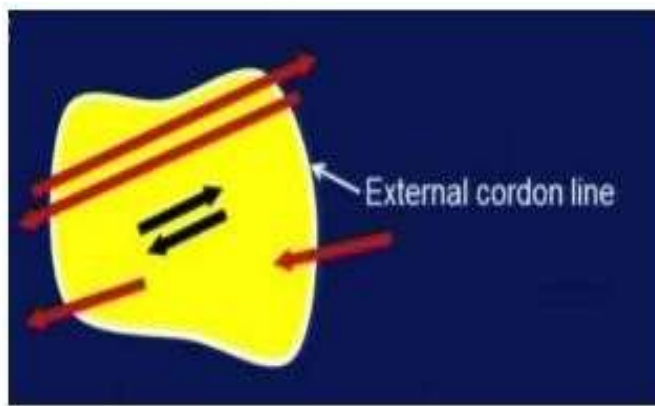
Daerah studi ditetapkan sebagai suatu area spasial (obyek) yang menjadi fokus perencanaan dan pemodelan untuk memprediksi kebutuhan transportasi di dalamnya, serta dari dan menuju daerah tersebut. Daerah studi bisa berupa daerah perkotaan atau kawasan yang direncanakan untuk pengembangan kota di masa depan. Dalam perencanaan tingkat perkotaan, wilayah studi harus mencakup seluruh kontribusi yang ada serta memiliki potensi untuk pembangunan kawasan kota tersebut.

Daerah studi dibatasi oleh suatu garis batas yang disebut Garis Batas Wilayah. Garis ini ditentukan untuk tidak memotong jalan yang sama lebih dari dua kali, sehingga dapat memberikan batas yang jelas antar arus lalu lintas setiap daerah. Garis batas wilayah ini dapat ditentukan berdasarkan batas alami, seperti sungai, jalur kereta api, dan sebagainya. Contoh pembuatan garis Cordon dapat dilihat pada Gambar 4.



Gambar 4 Contoh pembuatan garis Cordon

Pada pembuatan garis Cordon, Daerah internal (dalam garis cordon) menentukan pola perjalanan untuk sebagian besar, sedangkan daerah eksternal (di luar garis cordon) hanya sebagian saja (tidak terlalu rinci). Pembagian daerah tersebut mengakibatkan adanya gerakan yang berasal dari internal ke internal (tanda panah hitam), internal ke eksternal, eksternal ke internal, dan eksternal ke eksternal (tanda panah merah). Pembagian ini ditunjukkan pada Gambar 5.



Gambar 5 Pembagian daerah internal eksternal
Sumber : Thamizh (2016)

Berikut ini adalah survey yang biasanya dilakukan untuk mendapat data perjalanan melalui garis cordon :

- Survey wawancara rumah
- Survey angkutan umum

- Wawancara sisi jalan
- Mengikuti satu kendaraan

2. 5 Kalibrasi dan Validasi Pemodelan Transportasi

Validasi model adalah proses untuk memverifikasi apakah model tersebut valid atau tidak. Model dianggap valid jika persentase kesalahannya masih berada dalam batas yang dapat diterima berdasarkan kriteria validasi. Setelah model divalidasi, tahap selanjutnya adalah kalibrasi. Kalibrasi model adalah proses untuk memperkirakan nilai-nilai parameter dalam model menggunakan berbagai teknik atau metode, seperti analisis numerik, aljabar linear, optimasi, dan lainnya. Proses kalibrasi ini dilakukan dengan bantuan algoritma komputer dan beberapa kinerja statistik untuk menentukan tingkat akurasi model. Setelah dikalibrasi, model dapat digunakan untuk peramalan di masa depan. Oleh karena itu, salah satu metode validasi dan kalibrasi yang paling sederhana adalah dengan mendefinisikan ambang kesalahan yang dapat diterima (Suprayitno, 2016). Kriteria persentase kevalidan data berdasarkan (Akbar et al., 2020) dapat dilihat pada tabel 2.

Tabel 2 Kriteria Validitas

No	Kriteria Validitas	Tingkat Validitas
1	85,01% - 100,00%	Sangat Valid
2	70,01% - 85,00%	Cukup Valid
3	50,01% - 70,00%	Kurang Valid
4	01,01% - 50,00%	Tidak Valid

2. 6 Survey Interview Langsung

Survei Wawancara Langsung di Tepi Jalan adalah salah satu jenis survei yang dapat diandalkan untuk mengumpulkan data asal dan tujuan perjalanan (Agung, 2021). Survei ini pada dasarnya bertujuan untuk menghasilkan data tentang pola perjalanan penduduk rumah tangga. Survei dilakukan langsung di tepi jalan pada setiap zona yang telah ditentukan, pada saat jam sibuk (peak hours). Dengan demikian, kita dapat langsung mengetahui asal dan tujuan perjalanan penduduk rumah tangga di lokasi zona tersebut.

2. 7 Kapasitas Ruas Jalan dan Tingkat Pelayanan

Kapasitas satu ruas jalan dalam sistem jalan raya adalah jumlah maksimum kendaraan yang dapat melewati ruas jalan tersebut (baik dalam satu arah maupun kedua arah) dalam periode waktu tertentu, dengan mempertimbangkan kondisi jalan dan lalu lintas yang umum.

2.7.1. Analisis Ruas Jalan

Dalam mengevaluasi permasalahan lalu lintas perkotaan, perlu dilakukan tinjauan klasifikasi fungsional dan sistem jaringan ruas jalan yang ada. Klasifikasi berdasarkan fungsi jalan perkotaan dibedakan menjadi jalan arteri, kolektor, dan lokal. Sementara itu, klasifikasi berdasarkan sistem jaringan terdiri atas jalan primer dan sekunder.

Pada umumnya, permasalahan lalu lintas di perkotaan terjadi pada jalan utama, yang termasuk dalam klasifikasi jalan arteri dan kolektor, di mana volume lalu lintas biasanya besar. Di sisi lain, pada jalan lokal, volume lalu lintas umumnya rendah, dan akses terhadap lahan sekitarnya tinggi, sehingga permasalahan lalu lintas bersifat lokal dan tidak signifikan.

Kinerja lalu lintas perkotaan dapat dinilai menggunakan parameter berikut:

- Untuk ruas jalan: V/C Ratio (rasio antara volume dan kapasitas), kecepatan, dan kepadatan lalu lintas.
- Untuk persimpangan: tundaan dan kapasitas sisa.

Berdasarkan Manual Kapasitas Jalan Indonesia (MKJI, 1997), besarnya kapasitas jalan dapat dihitung dengan rumus sebagai berikut :

$$C = C_o \times FC_w \times FC_{SP} \times FC_{SF}$$

dimana:

- C = kapasitas (smp/jam)
- C_o = kapasitas dasar (smp/jam)
- FC_w = faktor penyesuaian lebar jalan
- FC_{SP} = faktor penyesuaian pemisah arah (hanya untuk jalan tak terbagi)
- FC_{SF} = faktor penyesuaian hambatan samping dan bahu jalan

2.7.2. Kinerja Ruas Jalan

Beberapa kinerja yang dibutuhkan dalam evaluasi lalu lintas dapat dijelaskan sebagai berikut:

1. V/C Ratio menunjukkan kondisi ruas jalan dalam melayani volume lalu lintas yang ada, yaitu rasio antara volume lalu lintas yang terjadi dengan kapasitas maksimum yang dapat dilayani oleh jalan tersebut.
2. Kecepatan perjalanan rata-rata dapat menggambarkan waktu tempuh dari titik asal ke titik tujuan dalam wilayah pengaruh, yang akan menjadi tolak ukur dalam pemilihan rute perjalanan dan analisis ekonomi terkait efisiensi perjalanan.
3. Tingkat pelayanan adalah indikator yang mencakup gabungan beberapa parameter dari ruas jalan. Penentuan tingkat pelayanan disesuaikan dengan kondisi lalu lintas yang ada untuk memberikan gambaran mengenai kualitas arus lalu lintas di ruas jalan.

Tingkat pelayanan menggambarkan kualitas arus lalu lintas yang sesungguhnya terjadi di ruas jalan, serta kelayakan kapasitas jalan dalam menampung volume lalu lintas yang terjadi, sesuai dengan standardisasi yang tercantum dalam Buku Manual Kapasitas

Jalan Indonesia (MKJI) 1997.

Tabel 3 Tingkat Pelayanan Jalan Manual Kapasitas Jalan Indonesia (MKJI 1997)

Tingkat Pelayanan		Kondisi Arus Lalu lintas	V/C Rasio
A	Sangat Stabil	Kondisi arus lalu lintas bebas dengan kecepatan tinggi dan volume lalu lintas rendah	0,00 - 0,20
B	Hampir stabil	Arus stabil, tetapi kecepatan operasi mulai dibatasi oleh kondisi lalu lintas	0,21 - 0,44
C	Stabil	Arus stabil, tetapi kecepatan dan gerak kendaraan dikendalikan	0,45 - 0,74
D	Hampir Macet	Arus mendekati stabil, kecepatan masih dapat dikendalikan. V/C masih dapat ditolerir	0,75 - 0,84
E	Buruk	Arus tidak stabil Kecepatan terkadang terhenti, permintaan sudah mendekati kapasitas	0,85 - 1,00
F	Sangat Buruk	Arus dipaksakan, kecepatan rendah, volume diatas kapasitas, antrian panjang (macet)	> 1

2. 8 PTV Visum

Dengan adanya perkembangan teknologi, pemodelan dan evaluasi kondisi rute transportasi dapat dilakukan secara lebih efektif melalui simulasi visual. Salah satu perangkat lunak yang digunakan untuk tujuan ini adalah PTV Visum 2021 (Atanasova, 2023). Perangkat lunak ini dirancang untuk memodelkan sistem transportasi perkotaan, metropolitan, dan regional, serta mengevaluasi kebijakan transportasi yang mempengaruhi seluruh sistem transportasi yang ada (Wahuni, 2023).

PTV Visum (VSM) banyak digunakan untuk memodelkan sistem transportasi dalam skala besar dan mengevaluasi kebijakan transportasi yang ada. Keunggulan perangkat lunak ini terletak pada kemampuannya untuk melakukan simulasi untuk wilayah yang luas (Ramli et al., 2024).

PTV Visum adalah perangkat lunak pemodelan transportasi makroskopis yang dikembangkan oleh PTV AG di Karlsruhe, Jerman (Pangestu et al., 2024). Selain PTV Visum, PTV Group juga meluncurkan berbagai perangkat lunak lainnya, seperti:

- PTV Vissim: Model mikroskopis untuk semua jenis moda transportasi.
- PTV Viswalk: Simulasi pejalan kaki dalam dan luar bangunan.
- PTV Vistro: Solusi untuk analisis lalu lintas.

- PTV Balance: Pengendalian sinyal jaringan lalu lintas secara online.
- PTV Safety: Alat untuk analisis perlindungan terhadap kecelakaan.
- PTV Optima: Simulasi model lalu lintas berdasarkan model PTV Visum.

Kelebihan utama PTV Visum adalah kemampuannya untuk memodelkan persoalan transportasi secara multi-modal, yang mencakup angkutan pribadi maupun angkutan umum, serta menyediakan output grafik interaktif. Program ini menawarkan berbagai metode pemodelan dan analisis jaringan transportasi dengan multi moda, pemodelan permintaan transportasi, dan implementasi prosedur evaluasi jaringan.

PTV Visum juga memungkinkan perencana untuk melakukan perbandingan langsung antara kondisi saat ini dan kondisi masa depan, dengan mempertimbangkan perubahan lalu lintas pada jaringan jalan dan perubahan jaringan transit, yang dapat dilihat melalui karakteristik sosial ekonomi di wilayah studi (Atanasova, 2023).

2. 9 Penelitian Terdahulu

1. (Wahuni, 2023), Evaluasi Kinerja Rute Kendaraan Angkutan Barang Kota Dumai Dan Pemodelan Menggunakan Aplikasi PTV Visum 22. Penelitian ini bertujuan untuk mengevaluasi kinerja rute kendaraan angkutan barang di Kota Dumai. Hasil penelitian menunjukkan bahwa, berdasarkan evaluasi kinerja rute menggunakan metode PKJI 2014, rute kendaraan angkutan barang masih dapat menampung volume kendaraan yang melintas. Namun, di jalan Soekarno Hatta (Rawa Panjang), tingkat pelayanan mendekati D, yang menunjukkan kondisi hampir mengalami kemacetan dengan arus lalu lintas yang tidak stabil, di mana hampir seluruh pengemudi akan terhambat. Disarankan untuk melakukan pelebaran jalan di titik tersebut. Hasil pemodelan menggunakan aplikasi PTV Visum 22 juga menunjukkan bahwa pembebanan kendaraan angkutan barang tertinggi terjadi pada Jl. Soekarno Hatta (Rawa Panjang), yang menghubungkan zona 1 ke zona 2, dengan 246 pergerakan kendaraan.
2. (Yunus et al., 2018), Pemodelan Transportasi pada Jalan Trans Bangka Menggunakan Aplikasi PTV Visum. Penelitian ini bertujuan untuk memahami pola pergerakan lalu lintas kendaraan dan kinerja lalu lintas pada ruas Jalan Trans Bangka. Metode keseimbangan Wardrop (equilibrium) dipilih, dengan asumsi bahwa setiap pengendara akan berusaha meminimumkan biaya perjalanannya dengan beralih ke rute alternatif. Hasil validasi arus lapangan dengan arus model menunjukkan bahwa model tersebut valid, dengan R^2 yang mendekati 1, yaitu 0,86. Pergerakan yang terjadi setelah dibangunnya jalan Trans Bangka pada tahun 2020 menunjukkan arus rata-rata untuk kendaraan penumpang sebesar 170 smp/jam dengan kecepatan 52 km/jam, dan untuk kendaraan barang sebesar 165 smp/jam dengan kecepatan 51 km/jam. Dengan demikian, kendaraan penumpang lebih banyak melewati jalan Trans Bangka dibandingkan kendaraan barang. Derajat kejenuhan pada jalan ini pada tahun 2020 menunjukkan nilai yang relatif kecil, yaitu $< 0,85$.