BAB II
TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Studi Terdahulu

Kajian Pengembangan Jaringan Jalan di Pulau Jawa berbasis zona dimana dibagi menjadi beberapa zona dengan basis terkecil kabupaten. Kajian bangkitan dan tarikan pergerakan merupakan fungsi dari beberapa peubah bebas berupa parameter sosio-ekonomi dan tata guna lahan. Peubah bebas sosio-ekonomi dan tata guna lahan telah digunakan antara lain populasi, PDRB, PDRB perkapita, luas industri, produksi pertanian, perkebunan dan perikanan (Tamin, 1997).

Menurut Tamin & Soegondo (1997), menyatakan pergerakan arus manusia, kendaraan dan barang akan mengakibatkan berbagai macam interaksi. Akan terdapat interaksi antara kota sebagai pasar dengan daerah industri, kota sebagai konsumen hasil pertanian dengan daerah pertanian, kota dengan daerah pariwisata dan antara pabrik dengan lokasi bahan mentah dan pasar. Semua interaksi yang terjadi memerlukan perjalanan, dan oleh sebab itu akan menghasilkan pergerakan arus.

Pada tahun 1954, *Urban Traffic; A Function of Land Use* yang ditulis oleh Mitchell and Rapkin melakukan kajian lalulintas di kota Detroit. Dengan menggunakan empat peubah bebas untuk menghitung bangkitan pergerakan (80-90% pergerakan di negara barat adalah berbasis rumah), yaitu pemilikan

kendaraan, kepadatan permukiman, jarak daerah ke pusat kota, dan pendapatan. Ternyata peubah bebas jumlah mobil per rumah tangga, pendapatan dan jarak dari pusat kota berkolerasi positif terhadap bangkitan pergerakan. Sebaliknya peubah bebas kepadatan rumah tangga (jumlah rumah tangga per satuan zona) berkorelasi negatif; artinya semakin padat daerah tersebut semakin rendah bangkitan pergerakannya. Akan tetapi analisis regresi linier berganda ini digunakan di kota Washington dengan peubah bebas sosio-ekonomi dan tata guna lahan yang sama dengan kota Detroit, akan dihasilkan model yang berbeda. Dari kajian kedua di atas membuktikan meskipun peubah bebas sosio-ekonomi dan tata guna lahannya sama, perilaku bangkitan kedua kota berbeda karena memiliki ciri yang berbeda.

2.2 Sistem Transportasi

Sistem adalah gabungan dari beberapa komponen atau objek yang saling terkait. Perubahan pada salah satu komponen dapat menyebabkan perubahan pada komponen lainnya. Dalam sistem transportasi, perubahan pada komponen kegiatan (aktivitas tata guna lahan) dan sistem transportasi (jaringan jalan) akan menyebabkan perubahan pada komponen sistem pergerakan. Sehingga dapat dikatakatan bahwa sistem pergerakan merupakan fungsi dari keberadaan sistem kegiatan dan sistem transportasi.

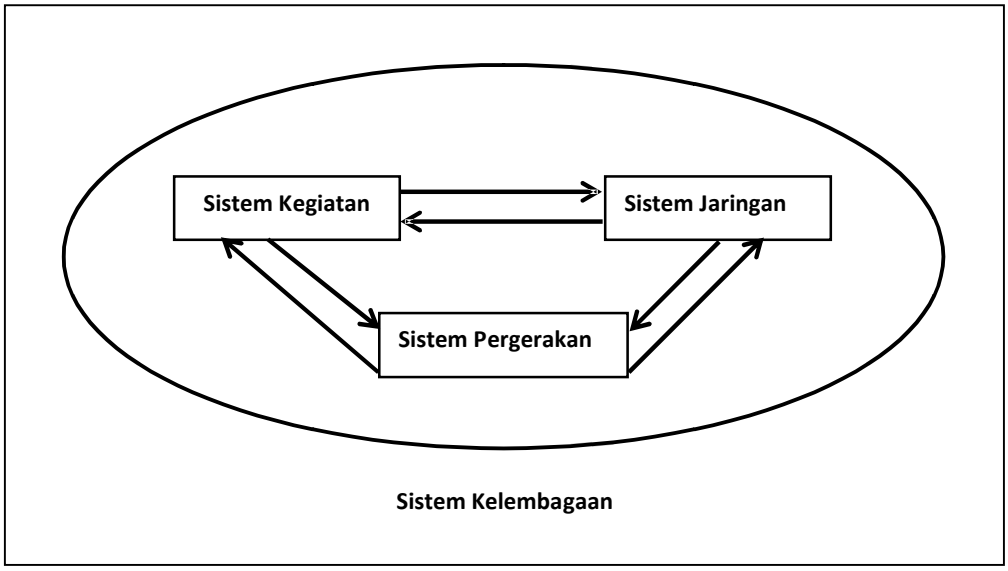
Sistem transportasi antar kota dengan melibatkan berbagai aktivitas seperti: industri, pariwisata, perdagangan, pertanian, pertambangan, dimana kegiatan tersebut menempati suatu tanah. Pemenuhan kebutuhan tersebut memerlukan perjalanan antar tata guna tanah dengan menggunakan sistem jaringan transportasi baik berjalan kaki maupun dengan moda transportasi.

Perjalanan tersebut menimbulkan pergerakan arus manusia, kendaraan dan barang.

Sistem transportasi dikelompokkan atas dua jenis, yaitu sistem transportasi makro dan sistem transportasi mikro. Sistem transportasi makro merupakan gabungan dari beberapa komponen yang lebih kecil (mikro), yaitu sistem kegiatan, sistem jaringan, sistem pergerakan, dan sistem kelembagaan. Setiap tata guna tanah atau sistem kegiatan mempunyai tipe kegiatan tertentu yang akan 'membangkitkan' pergerakan *(traffic generation)* dan akan 'menarik' pergerakan *(traffic attraction)*. Sistem tersebut merupakan suatu sistem pola kegiatan tata guna tanah *(land use)* yang terdiri dari sistem pola kegiatan sosial, ekonomi, kebudayaan, dan lain-lain. Sistem kegiatan, sistem jaringan, dan sistem pergerakan akan saling mempengaruhi satu dengan lainnya seperti terlihat pada Gambar 2.1.

Perubahan pada sistem kegiatan jelas akan mempengaruhi sistem jaringan melalui suatu perubahan pada tingkat pelayanan sistem pergerakan. Begitu juga perubahan pada Sistem Jaringan akan dapat mempengaruhi Sistem Kegiatan melalui peningkatan mobilitas dan aksesibilitas dari sistem pergerakan tersebut. Untuk menjamin terwujudnya suatu sistem pergerakan yang aman, nyaman, lancar, murah dan sesuai dengan lingkungannya, maka dalam sistem transportasi makro terdapat suatu sistem mikro tambahan lainnya yang disebut dengan sistem kelembagaan yang terdiri beberapa individu, kelompok, lembaga, instansi pemerintah serta swasta yang terlibat dalam setiap sistem mikro tersebut (Tamin & Soegondo, 1997).

Hubungan saling keterkaitan antar komponen pada sistem transportasi dijelaskan pada Gambar 2.1.



Gambar 2.1 Sistem Transportasi Makro (Tamin, 2008)

Pergerakan lalu lintas timbul karena adanya proses pemenuhan kebutuhan. Kita perlu bergerak karena kebutuhan kita tidak bisa dipenuhi di tempat kita berada. Setiap tata guna lahan atau sistem kegiatan (sistem mikro yang pertama) mempunyai jenis kegiatan tertentu yang akan membangkitkan dan menarik pergerakan dalam proses pemenuhan kebutuhan. Sistem tersebut merupakan sistem pola kegiatan tata guna lahan yang terdiri dari sistem pola kegiatan sosial, ekonomi, kebudayaan, dan lain-lain. Kegiatan yang timbul dalam sistem ini membutuhkan pergerakan sebagai alat pemenuhan kebutuhan yang perlu dilakukan setiap hari yang tidak dapat dipenuhi oleh tata guna lahan tersebut. Besarnya pergerakan sangat berkaitan erat dengan jenis dan intensitas kegiatan yang dilakukan.

Pergerakan yang berupa pergerakan manusia dan/atau barang tersebut jelas membutuhkan moda transportasi (sarana) dan media (prasarana) tempat moda transportasi tersebut bergerak. Prasarana transportasi yang diperlukan merupakan sistem mikro yang kedua yang biasa dikenal dengan sistem jaringan yang meliputi sistem jaringan jalan raya, kereta api, terminal bus, bandara, dan pelabuhan laut.

Interaksi antara sistem kegiatan dan sistem jaringan ini menghasilkan pergerakan manusia dan/atau barang dalam bentuk pergerakan kendaraan dan/atau orang (pejalan kaki). Suatu sistem mikro yang ketiga atau sistem pergerakan yang aman, cepat, nyaman, murah, handal, dan sesuai dengan lingkungannya dapat tercipta jika pergerakan tersebut diatur oleh sistem rekayasa dan manajemen lalu lintas yang baik.

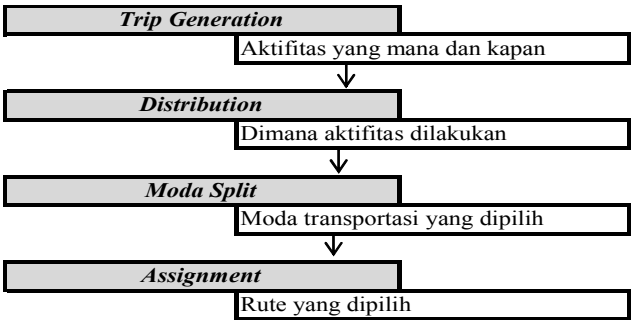
Di Indonesia sistem kelembagaan (instansi) yang berkaitan dengan masalah transportasi pada sistem kegiatan, instansi yang terlibat adalah: BAPPENAS, BAPPEDA, BANGDA, PEMDA; pada sistem jaringan adalah: Departemen Perhubungan (Darat, Laut, Udara), Bina Marga serta pada sistem pergerakan oleh DLLAJ, Organda, Polantas, masyarakat.

2.3 Perencanaan dan Pemodelan Transportasi

Tujuan dasar perencanaan transportasi adalah untuk memperkirakan jumlah dan lokasi kebutuhan transportasi (jumlah perjalanan) pada masa mendatang (tahun rencana) untuk kepentingan kebijaksanaan investasi perencanaan transportasi.

Sedangkan tujuan pemodelan adalah memperkirakan besarnya pergerakan kendaraan pada suatu segmen jaringan jalan, mengevaluasi kondisi eksisting

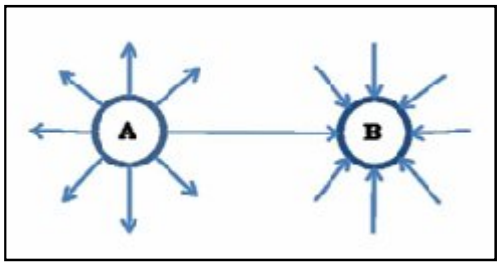
dengan berbagai alternatif penanganan sistem transportasi dan mengkaji interaksi dari subsistem transportasi yang terkait dalam model. Model yang banyak digunakan dalam perencanaan transportasi adalah model perencanaan transportasi 4 (empat) tahap, masing-masing sub model dilakukan secara terpisah dan hasil keluaran dari sub model merupakan masukan bagi sub model berikutnya. Sub-sub model dari model transportasi 4 (empat) tahap ini dapat dilihat pada Gambar 2.2.



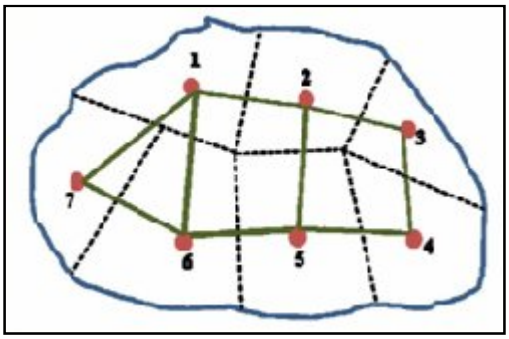
Gambar 2.2 Four Step Model.
Sumber : Ortuzar dan Willumsen (1994)

Model 4 (empat) tahap ini didasarkan pada pelaku perjalanan akan melakukan beberapa rangkaian keputusan atau pertimbangan, antara lain keputusan untuk melakukan perjalanan, keputusan untuk memilih tujuan, keputusan untuk memilih moda, keputusan untuk memilih rute.

Model distribusi perjalanan merupakan bagian perencanaan transportasi yang berhubungan dengan sejumlah asal perjalanan yang ada pada setiap zona dari wilayah yang diamati dengan sejumlah tujuan perjalanan yang beralokasi dalam zona lain dalam wilayah tersebut. Distribusi pergerakan dapat direpresentasikan dalam bentuk Matriks Asal Tujuan, MAT (*origin-destination matrix/O-D matrix*) atau garis keinginan (*desire line*).



Gambar 2.3 Matrik Asal [A] dan Tujuan [B] (Wells, 1975)



Gambar 2.4 Diagram garis keinginan (*desire line*)

Menurut Black (1985) dalam keadaan tertentu model ini bisa digunakan tanpa berurutan yang disebabkan oleh kurangnya kuantitas dan kualitas data yang ada, terbatasnya waktu dan dana studi serta apa tujuan dari kajian tersebut (Miro, 2002). Dari model empat tahap diatas dapat dilaksanakan dalam 4 (empat) alternatif seperti pada gambar 2.5.

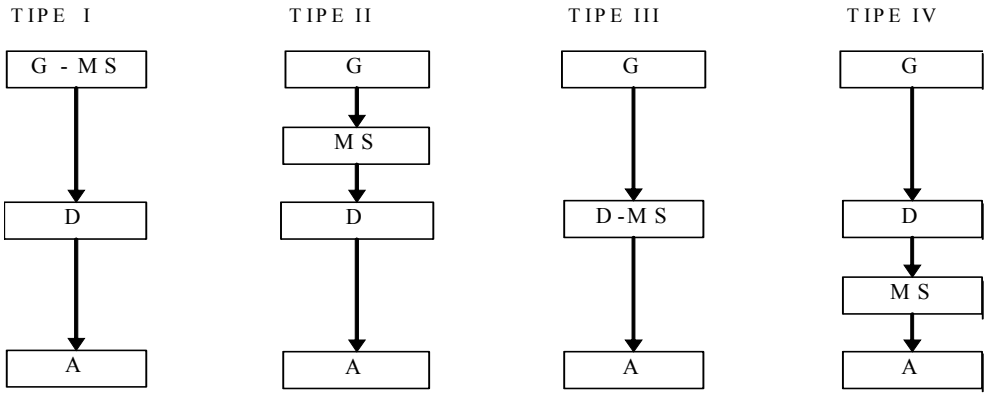
Type I, analisis bangkitan perjalanan digabungkan dengan analisis pemilihan moda. Model regresi linier pada bangkitan pergerakan untuk menentukan jumlah perjalanan yang terbangkit dari suatu zona asal dapat ditaksir jumlahnya yang menggunakan moda angkutan tertentu.

Type II, jumlah perjalanan yang menggunakan moda angkutan tertentu sudah dapat ditentukan sebelum kita melakukan pembagian jumlah perjalanan antar zona (sebaran perjalanan). Diasumsikan bahwa pengguna angkutan umum tidak

dimasukan dalam analisis, maksudnya agar lebih dapat mengefisienkan waktu dan biaya kajian (Stopher dan Meyburg, 1975).

Type III, analisis sebaran perjalanan digabungkan dengan analisis moda angkutan. Penggabungan ini dilakukan karena samanya model yang digunakan yaitu model grafity dengan fungsi eksponensialnya. Pada sebaran pergerakan antar zona terdapat eksponensial didalam model *gravity* dan pemilihan moda angkutan juga terdapat eksponensial sebagai kendala perjalanan dari zona asal ke zona tujuan dengan moda angkutan tertentu.

Type IV, analisis menggunakan type ini adalah yang sering digunakan dalam kajian-kajian transportasi yang menggunakan konsep transportasi empat tahap.



Keterangan :
G = Bangkitan Pergerakan
D = Sebaran Pergerakan
MS = Pemilihan Moda Angkutan
A = Pemilihan Rute (Pembebanan pada jaringan jalan)

Gambar 2.5 Alternatif Urutan Studi Transportasi Empat Tahap
Sumber : Black (1985)

Terdapat tiga komponen utama (variabel) dari sistem tata guna tanah perkotaan dengan sistem transportasi, yaitu:

1. Tata guna tanah (*transport demand*)

   Peruntukan sebidang tanah dan intensitas dari aktivitas yang terjadi pada sebidang tanah tersebut. Tata guna tanah ini akan menghasilkan lalu lintas, seperti orang akan melakukan perjalanan dari dan ke zona tersebut.

2. Prasarana transportasi (*transport supply*)

   Jaringan transportasi kota, karakteristik operasi jaringan jalan, kapasitas jalan dan rute, tarif, serta kapasitas.

3. Lalu lintas (*traffic*)

   Interaksi tata guna tanah dan prasarana transportasi, yaitu kendaraan dan barang yang bergerak di jaringan jalan, dalam satuan kendaraan/orang/ton per jam (atau dalam periode waktu yang berbeda)

Model yang dikembangkan adalah untuk mengerti hubungan yang terjadi dalam suatu kota antara tata guna tanah, transportasi dan lalu lintas. Model tersebut harus dimodifikasi dan diperbaiki secara kontinyu, dalam memprediksi arus lalu lintas yang menjadi dasar perencanaan suatu fasilitas transportasi.

Model adalah alat bantu atau media yang dapat digunakan untuk mencerminkan dan menyederhanakan suatu realita (dunia sebenarnya) secara terukur; beberapa diantaranya adalah:

a. Model fisik (model arsitek, model teknik, wayang golek, dan lain-lain).
b. Model peta dan diagram.

c. Model statistik dan matematik (fungsi atau persamaan) yang dapat menerangkan secara terukur beberapa aspek fisik, sosial ekonomi, atau model transportasi.

Semua model merupakan penyederhanaan realita untuk mendapatkan tujuan tertentu, yaitu penjelasan dan pengertian yang lebih mendalam serta untuk kepentingan peramalan. Transportasi banyak dimodelkan dengan model grafis dan model matematis. Model grafis berbentuk gambar (titik, garis, baris berarah, bentuk, warna) yang menyampaikan informasi disesuaikan dengan tujuan atau konteks bahasan. Model matematis menggunakan persamaan atau fungsi matematika dalam usaha mencerminkan realita, dengan mengikuti prosedur analisis matematis, sehingga bahasan persoalan dapat dipahami dan berlaku secara luas (universal).

Berbagai sebab sehingga dibutuhkan model matematis salah satunya adalah karena begitu kompleksnya karakteristik perilaku pelaku perjalanan saat ini yang tidak dapat secara langsung diramalkan kondisi pergerakannya di masa yang akan datang. Dengan menggunakan beberapa seri fungsi atau persamaan, dapat diterangkan cara kerja sistem dan hubungan keterkaitan antar sistem (kegiatan, jaringan dan pergerakan) secara terukur.

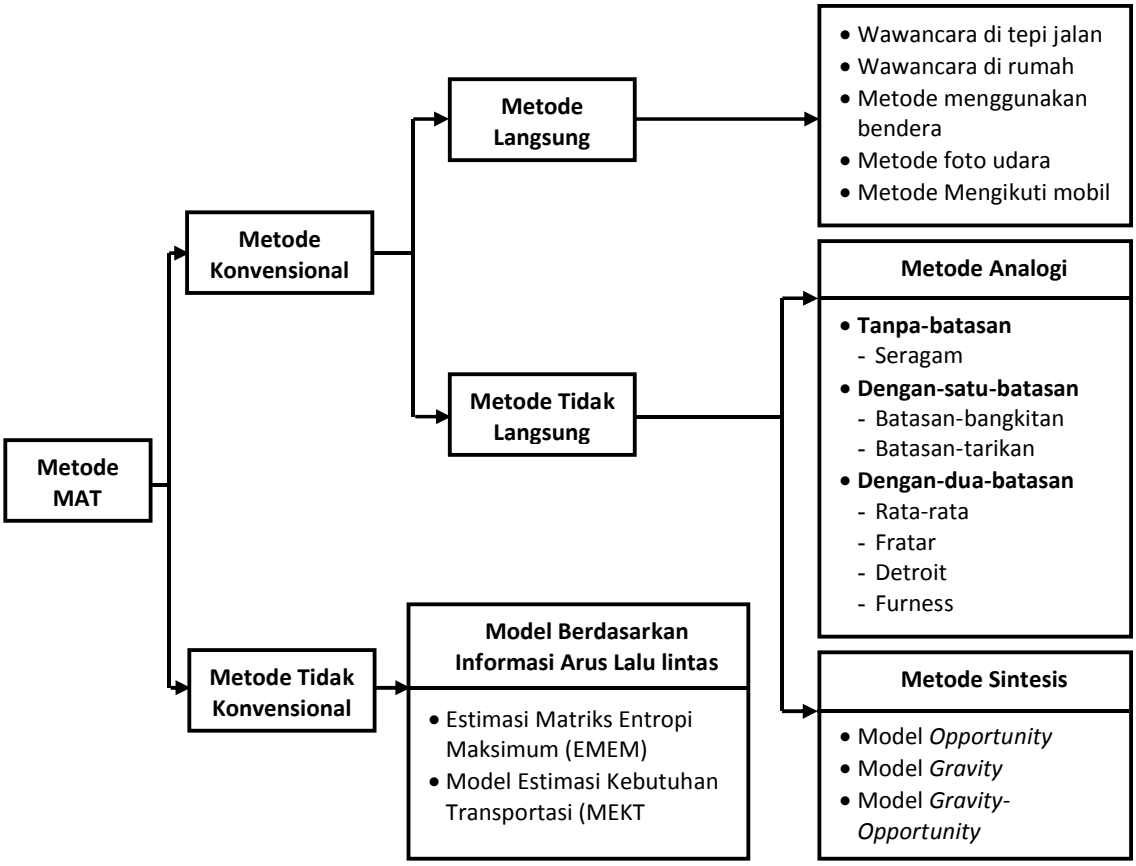
Perencanaan transportasi dilakukan dengan menggunakan analisis hubungan kebutuhan-sediaan transportasi, untuk memperkirakan kebutuhan transportasi di masa depan, sehingga dibuat model kebutuhan perjalanan. Keluaran dari model kebutuhan perjalanan adalah jumlah lalu lintas yang diharapkan akan menggunakan setiap ruas jalan dalam jaringan jalan untuk perkiraan beberapa tahun kedepan.

2.4 Matriks Asal-Tujuan (MAT)

Pola pergerakan/perjalanan dalam suatu sistem transportasi sering dijelaskan dalam bentuk arus pergerakan (kendaraan, orang maupun barang) yang bergerak dari zona asal ke zona tujuan di dalam suatu wilayah studi dan dalam rentang waktu tertentu. Matriks Asal-Tujuan (MAT) sering digunakan oleh perencana transportasi untuk menggambarkan pola pergerakan tersebut. MAT merupakan media yang dapat menggambarkan pola pergerakan dan tingkat kebutuhan transportasi yang terjadi. MAT juga merupakan masukan utama yang paling sering digunakan dalam berbagai macam perencanaan dan manajemen sistem transportasi.

MAT adalah matriks dua dimensi yang berisi informasi mengenai besarnya pergerakan antarlokasi (zona) di dalam daerah kajian tertentu. Baris menyatakan zona asal dan kolom menyatakan zona tujuan, sehingga sel matriksnya menyatakan besarnya arus dari zona asal ke zona tujuan. Notasi $\boldsymbol{T}_{id}$ menyatakan besarnya arus pergerakan (kendaraan, orang atau barang) yang bergerak dari zona asal ***i*** ke zona tujuan ***d*** selama periode waktu tertentu.

MAT "yang sebenarnya terjadi" di lapangan tidak akan pernah bisa diketahui oleh siapa pun sehingga para peneliti mengembangkan berbagai jenis metode beberapa tahun belakangan ini untuk dapat memperkirakan MAT tersebut. Secara garis besar metode untuk mendapatkan MAT dikelompokkan atas 2 (dua) bagian utama yaitu: metode konvensional dan metode tidak konvensional (Tamin, 2008) seperti terlihat pada Gambar 2.6.



Gambar 2.6 Metode untuk mendapatkan Matriks Asal-Tujuan (MAT)
Sumber: Tamin (2008)

Kelompok pertama adalah Metode Konvensional, yaitu menaksir sampel MAT dari lapangan secara langsung, dilakukan melalui survei wawancara rumah tangga atau survei wawancara tepi jalan. Metode ini memerlukan biaya yang sangat besar, tenaga surveyor yang banyak, ketelitian tinggi dalam pengolahan data, waktu yang lama serta umumnya mengganggu pengguna jalan. Tantangan ini menuntut suatu jawaban, ditambah dengan tingginya tingkat pertumbuhan tata guna tanah, populasi, lapangan kerja, dan lain-lainya menyebabkan sangat dibutuhkannya metode untuk mendapat informasi MAT dengan biaya yang murah dan waktu proses yang cepat.

Kelompok kedua disebut metode tidak konvensional, yakni metode estimasi MAT berdasarkan data arus lalulintas. Metode ini adalah metode estimasi yang cukup efektif dan ekonomis karena data utama yang dibutuhkannya adalah berupa informasi data arus lalulintas. Keuntungan metode ini sangat ekonomis sehingga banyak mendapat perhatian. Disamping itu, banyak instansi terkait yang mengumpulkan data secara rutin sehingga banyak tersedia dan mudah didapat. Hal ini memungkinkan perubahan atau tingkat pertumbuhan arus lalulintas dapat dengan mudah dideteksi dan dianalisis.

2.4.1 Metode Konvensional

Tamin (2008) mengelompokkan metode konvensional menjadi dua bagian utama, yaitu metode langsung dan metode tidak langsung. Pada metode langsung, pendekatannya sangat tergantung dari hasil pengumpulan data dan survei lapangan, sehingga membutuhkan sumber daya manusia yang besar, mahal, waktu proses yang lama serta hasil akhirnya hanya berlaku untuk selang waktu yang pendek saja. Selain itu ada yang membutuhkan koordinasi dengan pengguna jalan, sehingga dapat menyebabkan gangguan dan tundaan bagi pengguna jalan tersebut. Metode Tidak Langsung lebih mengandalkan prosedur matematis dan pemodelan dalam membentuk MAT, tergantung pada jenis data yang digunakan. Secara umum metode tidak langsung dikelompokkan menjadi dua, yaitu metode analogi dan metode sintesis.

Dari pendekatan penaksiran MAT dengan menggunakan metode langsung dan tidak langsung harus disadari bahwa MAT yang didapat tidak terlepas dari kesalahan atau galat. Ketepatan dari estimasi MAT yang diperoleh sangat

tergantung sekali kepada kemungkinan timbulnya kesalahan dalam proses penaksirannya. Menurut Tamin (2008) ketepatan dihasilkan dari metode langsung dan tidak langsung dipengaruhi oleh beberapa sumber kesalahan yang dinyatakan sebagai berikut:

a. **Keragaman harian/musiman dan galat perluasan data survei**

   Jenis galat ini terjadi jika suatu faktor dibutuhkan untuk mengkonversi data asli lapangan untuk menghasilkan MAT pada selang waktu tertentu. Jenis galat yang timbul disebabkan adanya pengaruh keragaman harian/musiman pada MAT.

b. **Kesalahan dalam pengumpulan data**

   Kesalahan ini terjadi selama proses survei yakni faktor kesalahan manusia dalam proses pengumpulan data. Kesalahan tersebut antara lain kekeliruan dalam mengidentifikasikan kendaraan, menghitung arus lalulintas, kuesioner yang kurang lengkap ataupun kesalahan dalam menuliskan informasi. Kontrol kualitas yang baik dapat mengurangi jenis galat ini, tetapi tidak bisa menghilangkannya sama sekali.

c. **Kesalahan dalam pengolahan data**

   Kesalahan ini sering terjadi saat pengolahan data mentah dan diakibatkan oleh faktor kesalahan manusia. Penyebab kesalahan biasanya disebabkan oleh kesalahan dalam perhitungan, pengetikan, pemberian kode, ada data yang hilang atau tidak terbaca, kesalahan dalam membuat tabel atau kesalahan menjalankan program, kesalahan mengedit atau membuat file, dan lain sebagainya.

d. **Kesalahan pengambilan sampel**

Kesalahan ini biasanya terjadi pada saat melakukan survei dimana survei yang dilakukan tidak dapat mencakup seluruh pergerakan yang terjadi selama pelaksanaan survei serta proses wawancara atau metode yang dipakai tidak memungkinkan terambilnya seluruh data yang ada.

e. **Kesalahan kalibrasi**

Jenis kesalahan ini terjadi jika ketidakpastian data yang dibutuhkan dalam proses kalibrasi menghasilkan nilai parameter yang salah. Kesalahan ini ditimbulkan karena kurang akuratnya data yang diperoleh misalanya kondisi lapangan kerja dan lain-lain.

f. **Kesalahan spesifikasi**

Kesalahan ini terjadi jika hasil model yang dihasilkan tidak menggambarkan realita yang ada. Semakin baik model yang dihasilkan maka akan semakin sulit proses yang harus dilakukan. Dalam proses penyederhanaan membuat model tidak lepas dari faktor kesalahan. Perbedaan model yang diperoleh dengan kondisi realita yang ada harus tersebar normal dengan tingkat penyimpangan sekecil mungkin.

2.4.2 Metode Tidak Konvensional

Metode konvensioanal memiliki banyak kekurangan dan keterbatasan, hal ini meyebabkan para perencana transportasi menggunakan data informasi arus lalulintas untuk mengestimasi MAT. Teknik ini dikenal dengan nama metode tidak konvensional.

Bebarapa keuntungan dari metode ini adalah proses yang dilakukan lebih mudah dan sederhana, hemat waktu, biaya dan sumber tenaga sehingga jauh lebih murah dengan hasil yang didapatkan jauh lebih baik. Dengan menggunakan metode ini empat tahapan model dirubah menjadi proses tunggal dan data zona yang diperlukan serta data arus lalulintas dibatasi pada daerah dan rute yang telah ditentukan.

Berdasarkan keterangan di atas dapat kita simpulkan beberapa hal berikut ini yang menjadikan alasan mengapa data arus lalu lintas dijadikan data pokok untuk mengestimasi MAT, yaitu:

a. Biaya relatif murah

Untuk memperoleh data arus lalulintas para perencana transportasi tidak perlu melakukan interaksi langsung dengan pemakai jalan, persyaratan manajemen dan organisasi dapat diminimalkan serta tenaga kerja yang diperlukan sangat sedikit. Informasi yang diperlukan dapat dikumpulkan secara otomatis dengan menggunakan alat yang disebut '*automatic traffic*' dan dengan bantuan komputer hal ini dapat dilakukan dengan cepat.

b. Tidak menimbulkan gangguan

Data arus lalulintas dapat diperoleh tanpa mengganggu arus lalu lintas kendaraan atau pemakai jalan, sehingga tidak mengubah pola pergerakan yang terjadi. Metode pengumpulan data yang secara otomatis telah dikembangkan dengan bantuan komputer sehingga hasil yang didapat cukup representatif dengan tingkat akurasi yang tinggi.

c. Ketersediaan

Pada saat sekarang ini untuk memperoleh data arus lalulintas bukanlah hal yang sulit. Di kota-kota besar data arus lalu lintas hampir selalu tersedia dikarenakan banyak diperlukan untuk studi-studi transportasi.

Menurut Tamin (2008), disimpulkan bahwa tingkat akurasi dari MAT yang diestimasi dari informasi arus lalu lintas sangat dipengaruhi oleh beberapa faktor yaitu:

1. Pemilihan model kebutuhan akan transportasi yang digunakan untuk mencerminkan perilaku pergerakan di dalam daerah studi, teknik ini menggunakan model *Gravity* dan model *Logit-multinomial.*
2. Metode estimasi yang digunakan untuk mengkalibrasi parameter model transportasi dengan menggunakan data arus lalu lintas, menggunakan metode penaksiran kuadrat-terkecil (KT)
3. Teknik pemilihan rute yang digunakan dalam menentukan pemilihan rute di dalam sistem jaringan, dengan metode *Equilibrium Assignment.*
4. Tingkat kedalaman (resolusi) pendefinisian sistem zona dan jaringan

Dengan meninjau faktor-faktor pengaruh tersebut, maka keakurasian MAT yang dihasilkan dari informasi arus lalu lintas dapat ditingkatkan. Oleh karena itu, penyempurnaan model MAT dari informasi arus lalu lintas dapat dilakukan dengan meninjau sejauh mana pengaruh faktor-faktor tersebut berperan di dalam menentukan tingkat keakurasian dari MAT yang dihasilkan.

2.5 Zona dan Jaringan

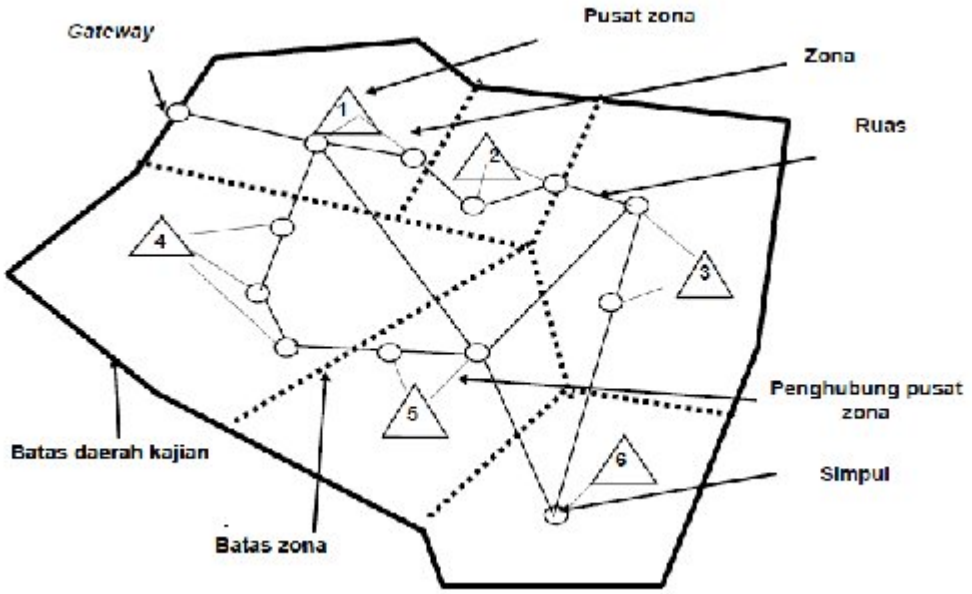
Definisi daerah kajian adalah suatu daerah geografis dimana di dalamnya terletak semua zona asal dan zona tujuan yang diperhitungkan dalam model kebutuhan akan transportasi. Kriteria terpenting daerah kajian adalah daerah itu berisikan zona internal dan ruas jalan yang secara nyata dipengaruhi oleh pergerakan lalulintas. Daerah kajian untuk suatu kajian transportasi dibatasi oleh batas daerah kajian di sekelilingnya, semua informasi transportasi yang bergerak di dalamnya harus diketahui.

Sedangkan sistem zona itu sendiri dapat didefinisikan sebagai suatu sistem tata guna lahan dimana satu satuan tata guna lahan didapat dengan membagi wilayah kajian menjadi bagian yang lebih kecil (zona) yang dianggap mempunyai keseragaman tata guna lahan atau berada di bawah suatu daerah administrasi tertentu seperti kelurahan, kecamatan atau wilayah. Setiap zona akan diwakili oleh satu pusat zona. Pusat zona dianggap sebagai tempat atau lokasi awal pergerakan lalulintas dari zona tersebut dan akhir pergerakan lalulintas yang menuju zona tersebut.

Beberapa kriteria utama yang perlu dipertimbangakan dalam menetapkan sistem zona di dalam suatu daerah kajian disarankan oleh IHT dan DTp (1987) dalam Tamin (2008), meliputi hal berikut ini:

a. Ukuran zona sebaiknya dirancang sedemikian rupa sehingga galat pengelompokkan yang timbul akibat asumsi pemusatan seluruh aktivitas pada suatu pusat zona menjadi tidak terlalu besar.

b. Batas zona sebaiknya harus sesuai dengan batas sensus, batas administrasi daerah, batas alami, atau batas zona yang digunakan oleh kajian terdahulu yang sudah dipandang sebagai kriteria utama.
c. Ukuran zona harus disesuaikan dengan kepadatan jaringan yang akan dimodelkan, biasanya ukuran zona semakin membesar jika semakin jauh dari pusat kota.
d. Ukuran zona harus lebih besar dari yang seharusnya untuk memungkinkan arus lalu lintas dibebankan ke atas jaringan jalan dengan ketepatan yang disyaratkan.
e. Batas zona harus dibuat sedemikian rupa sehingga sesuai dengan jenis pola pengembangan untuk setiap zona, misalnya pemukiman, industri, dan perkantoran.
f. Tipe tata guna lahan setiap zona sebaiknya homogen untuk menghindari tingginya jumlah pergerakan intrazonal dan untuk mengurangi tingkat kerumitan model.
g. Batas zona harus sesuai dengan batas daerah yang digunakan dalam pengumpulan data.
h. Ukuran zona ditentukan pula oleh tingkat kemacetan, ukuran zona pada daerah macet sebaiknya lebih kecil dibandingkan dengan daerah tidak macet.



Gambar 2.7 Daerah Kajian Sederhana dengan Definisinya
Sumber: Tamin (2008)

2.6 Uji Kedalaman Tingkat Resolusi Sistem Zona dan Sistem Jaringan Terhadap Akurasi MAT

Tingkat akurasi MAT yang dihasilkan dari data arus lalulintas sangat dipengaruhi oleh resolusi sistem zona dan sistem jaringan jalan di daerah kajian. Patunrangi, Tamin, dan Sjafruddin (1999) telah melakukan beberapa uji mengenai hal ini sebagai berikut.

1. Penentuan tata cara penomoran titik simpul, kodefikasi zona dan penghubung pusat zona sehingga memudahkan dalam mengidentifikasi sistem zona dan sistem jaringan di daerah kajian.
2. Analisis pengaruh perubahan sistem zona terhadap tingkat akurasi MAT yang dihasilkan dari data arus lalulintas dimana sistem jaringan dianggap tidak berubah.

3. Analisis pengaruh perubahan sistem jaringan terhadap tingkat akurasi MAT yang dihasilkan dari data arus lalulintas dimana sistem zona dianggap tidak berubah.
4. Analisis pengaruh akibat adanya perubahan sistem zona dan sistem jaringan terhadap tingkat akurasi MAT yang dihasilkan dari data arus lalulintas.

2.7 Pengaruh Tingkat Resolusi Sistem Jaringan Pada Pembebanan Lalulintas

Sistem transportasi terdiri atas sistem zona dan sistem jaringan yang sangat kompleks. Umumnya, analisis sistem transportasi tersebut selalu membutuhkan proses penyederhanaan akibat keterbatasan biaya dan waktu. Sistem transportasi yang telah disederhanakan tersebut disebut model jaringan. Beberapa model jaringan dapat dibuat dari suatu sistem transportasi tertentu tergantung pada tingkat resolusi atau tingkat kerinciannya.

Tingkat resolusi suatu model jaringan dapat diasumsikan bahwa akan sangat dipengaruhi oleh besarnya biaya dan waktu yang akan dibutuhkan dalam proses analisis. Diperkirakan pula, bahwa tingkat resolusi akan mempunyai efek pada setiap *output* yang dihasilkan. Dengan demikian, semakin tinggi tingkat resolusi suatu model jaringan, maka akan semakin besar biaya dan waktu yang dibutuhkan dalam proses analisisnya, namun semakin tinggi pula tingkat akurasi *output* yang dihasilkan.

Tamin dkk (2008) mencoba mengkaji pengaruh tingkat resolusi sistem jaringan terhadap kinerja hasil pembebanan dengan menganalisis berbagai variasi sistem jaringan, mulai dari yang resolusi tinggi sampai dengan resolusi rendah.

Proses perbandingan dilakukan pada besaran nilai volume arus lalu lintas dan waktu tempuh yang dihasilkan. Proses penyederhanaan model jaringan dilakukan dengan cara menurunkan tingkat resolusi sistem jaringan. Ruang lingkup kajian meliputi beberapa hal sebagai berikut:

1. Penyusunan berbagai variasi sistem jaringan di wilayah studi dengan kriteria untuk setiap tingkat resolusi berdasarkan hierarki jalan
2. Pembebanan MAT menggunakan model Keseimbangan-*Wardrop* dengan bantuan program komputer SATURN. Pembebanan dilakukan dengan beberapa variasi besarnya MAT, yaitu 25%, 50%, 75%, dan 100% MAT.
3. Mengukur kinerja setiap tingkat resolusi yang disajikan dalam bentuk besar arus rata-rata dan kecepatan rata-rata pada setiap ruas yang ditinjau.
4. Mengukur tingkat akurasi setiap tingkat resolusi dan menentukan tingkat resolusi optimal.

Semakin baik tingkat akurasi, maka semakin mirip suatu model dengan realitanya. Ketepatan yang semakin tinggi hanya dapat diperoleh dari model yang menggunakan definisi sistem zona yang memiliki resolusi tinggi, begitu pula dengan resolusi sistem jaringannya. Akan tetapi, dengan keterbatasan sumber daya yang tersedia maka model tersebut harus diagregasi sampai tingkat tertentu. Permasalahan ini memiliki banyak dimensi yang diantaranya adalah tujuan studi yang akan dicapai, dimensi waktu, dan lain-lain. Tidak disarankan untuk memasukkan seluruh informasi jaringan yang ada ke dalam model, namun resolusi jaringan tersebut harus cukup menggambarkan kelayakan dari rute yang dilalui oleh sebagian besar pergerakan. Tingkat hierarki jalan akan sangat menentukan dan juga tergantung pada jenis serta tujuan studi.

Lima tingkat resolusi sistem jaringan beserta karakteristik kuantitatifnya dijabarkan dengan urutan seperti terlihat pada Tabel 2.1 (Tamin, 2008).

Tabel 2.1 Tingkat Resolusi Sistem Jaringan

Tingkat resolusi	Arteri primer	Kolektor primer	Arteri sekunder	Kolektor sekunder	Lokal
1	√	√	√	√	√
2	√	√	√	√	x
3	√	√	√	x	x
4	√	√	x	x	x
5	√	x	x	x	x

Keterangan: √ = ada, x = dihilangkan
Sumber: Tamin dkk (2008)

a. Perbandingan arus lalu lintas rata-rata

Besar arus lalu lintas rata-rata untuk setiap tingkat resolusi didapatkan dengan mengalikan besarnya arus lalu lintas di setiap ruas tinjauan yang diperoleh dari hasil pembebanan dengan panjang ruasnya seperti terlihat pada persamaan berikut.

$$\mathbf{Vol}_{\mathbf{rata\text{-}rata}} = \frac{\Sigma\ (\qquad)}{\Sigma} \quad \text{.....(2.1)}$$

$\mathbf{Vol_a}$ = volume arus lalu lintas pada ruas ***a*** (smp/jam)

$\mathbf{L_a}$ = panjang ruas ***a*** (km)

b. Perbandingan kecepatan rata-rata

Besar kecepatan rata-rata untuk setiap tingkat resolusi didapatkan dengan mengalikan besarnya kecepatan pada setiap ruas tinjauan yang diperoleh dari hasil pembebanan dengan panjang ruasnya seperti terlihat pada persamaan berikut.

$$\mathbf{V_{rata\text{-}rata}} = \frac{\sum (\quad)}{\sum} \quad \text{.....(2.2)}$$

$\mathbf{V_a}$ = kecepatan pada ruas *a* (smp/jam)

$\mathbf{L_a}$ = panjang ruas *a* (km)

c. Tingkat penyimpangan nilai arus rata-rata relatif terhadap tingkat resolusi 1

Besarnya tingkat penyimpangan nilai arus rata-rata relatif terhadap tingkat resolusi 1 dapat dirumuskan dalam persamaan berikut ini.

$$\Delta = \frac{|\quad|}{\quad} \quad \text{.....(2.3)}$$

Δ = tingkat penyimpangan (%)

X_i = nilai arus rata-rata pada resolusi *i* (smp/jam)

X_1 = nilai arus rata-rata pada resolusi 1 (smp/jam)

2.8 Kombinasi Bangkitan, Sebaran, Pembebanan, dan Pemilihan Moda

Safwat dan Magnanti (1988) maju satu langkah dalam pengembangan suatu pemrograman matematika yang disebut STEM (model keseimbangan transportasi simultan). Mereka memberikan bentuk fungsi yang mempunyai fleksibilitas jauh lebih baik dibandingkan dengan fungsi yang dihasilkan oleh pendekatan entropi-maksimum. Fungsi kebutuhan masih lebih umum dibandingkan dengan fungsi yang digunakan dalam model transportasi konvensional. Mereka menggunakan ukuran nonutilitas perjalanan yang fleksibel (U_{id}) yang didefinisikan sebagai berikut:

$$\boldsymbol{U_{id}} = - \quad \boldsymbol{u_{id}} + \boldsymbol{A_d} \quad \text{.....(2.4)}$$

adalah parameter kalibrasi, u_{id} adalah persepsi biaya perjalanan dari ***i*** ke ***d***, dan A_d adalah efek konposit dari beberapa peubah sosioekonomi yang mempengaruhi bangkitan lalu lintas.

Safwat dan Magnanti (1988) menghubungkan permasalahan bangkitan pergerakan dengan ukuran sistematik tentang aksesibilitas yang dapat ditulis sebagai berikut:

S_i = **maksimum** { , ∑ (− +)} .....(2.5)

Sebaran pergerakan juga diberikan berupa suatu model logit:

$$T_{id} = \frac{(\qquad)}{\sum\ (\qquad)} G_i \quad \text{.....(2.6)}$$

Menurut Safwat dan Magnanti (1988), bentuk ini bersifat lebih umum dibandingkan model konvensional *gravity* karena telah memasukkan peubah sosioekonomi dalam bentuk fungsi utilitas yang fleksibel.

2.9 Model *Gravity* Sebagai Model Transportasi

Model ini pada mulanya dikembangkan berdasarkan hukum gravitasi Newton, gaya gravitasi (F_{id}) antara 2 massa m_i dan m_d dengan jarak d_{id} dapat dinyatakan sebagai berikut.

$F_{id} =$ ——— = konstanta .....(2.7)

Analog dengan persamaan di atas, model GR untuk sistem transportasi tertentu adalah:

$T_{id} = k$ ——— k = konstanta .....(2.8)

Jika nilai O_i dan D_d masing-masing menjadi 2 (dua) kali lipat, perjalanan antara kedua zona tersebut akan menjadi 4 (empat) kali lipat, padahal seharusnya

menjadi 2 (dua) kali lipat saja. Oleh karena itu, disarankan untuk membatasi model tersebut sehingga:

$\sum$ $= O_i$ dan $\sum$ $= D_d$ .....(2.9)

Dengan asumsi terdapat **M** moda transportasi, modifikasi model *gravity* (jenis dengan-dua-batasan) tersebut dapat dinyatakan:

$T_{id} = \sum$ (. . . .) .....(2.10)

dan = faktor penyeimbang yang dapat dinyatakan dengan:

$= [\sum$ (. .)$]^{-1}$ dan $= [\sum$ (. .)$]^{-1}$ .....(2.11)

= fungsi biaya memakai fungsi eksponensial-negatif: **exp(-** . **)**.....(2.12)

T_{id} = jumlah pergerakan dari zona asal *i* ke zona tujuan *d*

O_i = total pergerakan dari zona asal *i*

D_d = total pergerakan ke zona tujuan *d*

2.10 Model Logit-Multinomial (LM) Sebagai Model Pemilihan Moda

Model pemilihan moda diperlukan jika usulan mengenai angkutan umum mulai dipertimbangkan. Tujuan tahap ini adalah untuk memodel pemilihan moda transportasi untuk setiap perjalanan, biasanya antara mobil dan moda transportasi lain.

Model pemilihan moda yang paling sederhana dan sering digunakan adalah model logit-multinomial (LM), yang dapat dinyatakan sebagai:

$$= T_{id} \cdot \frac{(\ .\ )}{\sum\ (\ .\ )} \quad \text{.....(2.13)}$$

Persamaan dasar penaksiran model transportasi kombinasi SPPM (Sebaran Pergerakan-Pemilihan Moda) dengan menggunakan data arus lalu lintas atau penumpang sebagai berikut.

$$V_l^{\ k} = \sum_i \sum_d \left(O_i A_i B_d D_d f(C_{id})\right) \frac{\exp\left(-\gamma_k C_{id}^{\ k}\right)}{\sum_m \exp\left(-\gamma_m C_{id}^{\ m}\right)} p_{id}^{\ lk} \quad \text{.....(2.14)}$$

Persamaan (2.14) adalah sistem persamaan dengan **L** persamaan simultan yang mempunyai hanya satu parameter saja yang tidak diketahui. Permasalahannya adalah bagaimana menaksir nilai parameter tersebut sehingga model dapat menghasilkan data arus penumpang yang semirirp mungkin dengan data lapangan.

2.11 Metode Penaksiran Kuadrat-Terkecil (KT)

Ide utama dibalik metode penaksiran ini adalah mencoba mengkalibrasi parameter model transportasi yang tidak diketahui sehingga meminimumkan jumlah perbedaan kuadrat antara arus lalu lintas hasil penaksiran dan hasil pengamatan. Seperti yang dinyatakan Tamin (2008), fungsi tujuan model penaksiran ini lebih mengutamakan pengurangan perbedaan atau deviasi pada arus lalu lintas bervolume tinggi, bukan arus lalu lintas bervolume rendah. Untuk jenis fungsi tujuan yang berbeda, digunakan metode penaksiran kuadrat-terkecil-berbobot (KTB); setiap perbedaan diberi bobot dan jumlah kuadratnya diminimumkan untuk meningkatkan kepentingan arus lalu lintas bervolume rendah.

Secara matematis, permasalahan kalibrasi metode penaksiran kuadrat-terkecil (KT dan KTB) dapat dinyatakan dalam persamaan berikut dengan **= 1** untuk KT atau $\dot{V}_l = \hat{V}_l$ untuk KTB:

meminimumkan $S = \sum \frac{(\hat{V}_I)}{\dot{V}_I}$ .....(2.15)

dimana: $\dot{V}_I$ = 1 untuk Kuadrat-Terkecil-Tidak-Linier (KTTL)

$\dot{V}_I = \hat{V}_I$ untuk Kuadrat-Terkecil-Tidak-Linier-Berbobot (KTTLB)

$\hat{V}_I$ = jumlah arus lalulintas pada ruas hasil pengamatan

V_I = jumlah arus lalulintas pada ruas hasil pemodelan

2.12 Indikator Uji Kesesuaian Matriks dengan Koefisien Determinasi (R^2)

Indikator uji kesesuaian R^2 dapat didefinisikan sebagai persamaan berikut ini.

$$R^2 = 1 - \frac{\sum \sum (\quad)}{\sum \sum (\quad)} \quad \text{untuk } i \neq d \quad \text{.....(2.16)}$$

= Arus lalu lintas hasil pengamatan pada ruas a

= Arus lalu lintas hasil pemodelan pada ruas a

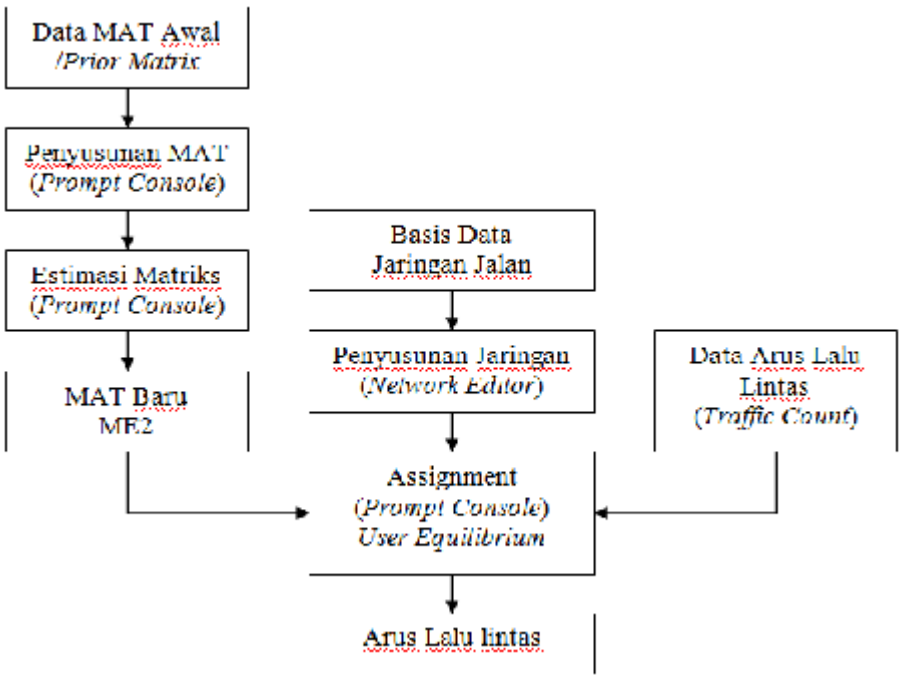
Indikator uji statistik R^2 ini merupakan suatu uji statistik yang paling sering digunakan. Indikator ini akan memberikan bobot sangat tinggi untuk kesalahan absolut besar. Oleh karena itu, nilai R^2 yang tinggi tidak dapat diperoleh dari matriks berjumlah sel besar dengan kesalahan kecil, tetapi sangat jelek pada nilai sel yang kecil.

2.13 Program Komputer *EMME/2*

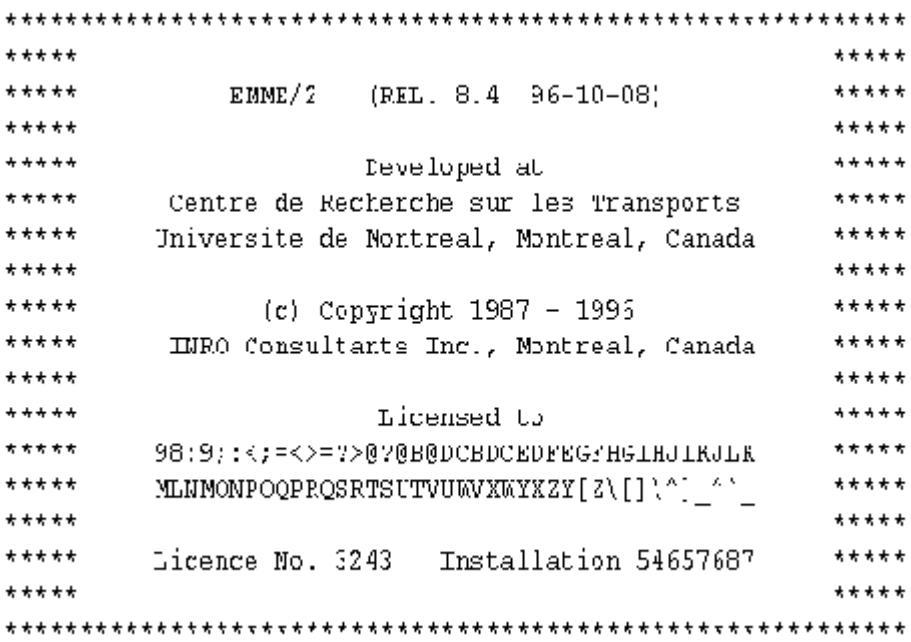
Perkembangan ilmu pengetahuan dan teknologi di bidang elektronika dan informasi telah meningkatkan kemampuan komputer secara pesat. Perkembangan ini sangat membantu dalam perhitungan model perencanaan transportasi yang

sangat tergantung pada komputer, karena biasanya proses ini berhubungan dengan data dalam jumlah yang besar, sehingga tidak mungkin diselesaikan secara manual.

EMME merupakan software yang professional dalam meramalkan sebuah perjalanan. *EMME* menawarkan perangkat alat perencanaan yang komplit dan komprehensif untuk kebutuhan suatu pemodelan. Akronim dari *EMME/2* berasal dari *Equilibre Multimodal, Multimodal Equilibrium* yang mengacu pada bahasa Perancis dan bahasa Inggris dari teori *equilibrium*. Angka 2 mengindikasikan suatu kode eksperimen yang dikembangkan di *Center of Research on Transportation di University of Montreal,* Kanada. Keluaran dari piranti lunak ini berupa numerik, grafis dan SIG.



Gambar 2.8 Prosedur Perhitungan Program EMME/2



Gambar 2.9 Tampilan *Software EMME/2*
Sumber: *EMME/2 User's manual Software Release 5,* 1997

Contents

2.1 Studi Terdahulu 13
2.2 Sistem Transportasi 14
2.3 Perencanaan dan Pemodelan Transportasi 17
2.4 Matriks Asal-Tujuan (MAT) 23
2.4.1 Metode Konvensional 25
2.4.2 Metode Tidak Konvensional 27
2.5 Zona dan Jaringan 30
2.6 Uji Kedalaman Tingkat Resolusi Sistem Zona dan Sistem Jaringan Terhadap Akurasi MAT 32
2.7 Pengaruh Tingkat Resolusi Sistem Jaringan Pada Pembebanan Lalulintas 33
2.8 Kombinasi Bangkitan, Sebaran, Pembebanan, dan Pemilihan Moda 36
2.9 Model *Gravity* Sebagai Model Transportasi 37
2.10 Model Logit-Multinomial (LM) Sebagai Model Pemilihan Moda 38
2.11 Metode Penaksiran Kuadrat-Terkecil (KT) 39
2.12 Indikator Uji Kesesuaian Matriks dengan Koefisien Determinasi (R^2) 40
2.13 Program Komputer *EMME/2* 40

Gambar 2.1 Sistem Transportasi Makro (Tamin, 2008) 16
Gambar 2.2 Four Step Model. 18
Gambar 2.3 Matrik Asal [A] dan Tujuan [B] (Wells, 1975) 19
Gambar 2.4 Diagram garis keinginan (*desire line*) 19
Gambar 2.5 Alternatif Urutan Studi Transportasi Empat Tahap 20
Gambar 2.6 Metode untuk mendapatkan Matriks Asal-Tujuan (MAT) 24
Gambar 2.7 Daerah Kajian Sederhana dengan Definisinya 32
Gambar 2.8 Prosedur Perhitungan Program EMME/2 41
Gambar 2.9 Tampilan *Software EMME/2* 42

Tabel 2.1 Tingkat Resolusi Sistem Jaringan 35