

# **PENGARUH JENIS METODE ESTIMASI DALAM ESTIMASI MATRIKS ASAL TUJUAN (MAT) MENGUNAKAN DATA ARUS LALULINTAS PADA KONDISI PEMILIHAN RUTE KESEIMBANGAN (EQUILIBRIUM ASSIGNMENT)**

**Rusmadi Suyuti**  
Mahasiswa Program S3  
Pascasarjana Teknik Sipil ITB  
Gedung Lab Tek I Lantai 2  
Jln. Ganesha 10 Bandung – 40132  
Telp: (022) 2502350  
Fax: (022) 251 2395  
e-mail: rusmadi@hotmail.com

**Ofyar Z. Tamin**  
Staf Pengajar dan Peneliti  
Departemen Teknik Sipil  
Institut Teknologi Bandung  
Jalan Ganesha 10, Bandung 40132  
Telp: (022) 250 2350  
Fax: (022) 251 2395  
e-mail: ofyar@trans.si.itb.ac.id

## **Abstrak**

Pada hampir semua aplikasi perencanaan transportasi, input data yang paling sulit dan mahal untuk diperoleh adalah Matriks Asal Tujuan (MAT). Metodologi telah dikembangkan untuk mendapatkan MAT tersebut yang secara garis besar dikelompokkan menjadi 2 (dua), yaitu metode konvensional dan metode tidak konvensional. Penggunaan metode tidak konvensional dalam hal ini mempunyai keunggulan komparatif dibandingkan metode konvensional dalam hal kemudahan memperoleh data, murah, cepat, dan tidak mengganggu arus lalu lintas. Meskipun demikian terdapat beberapa faktor yang mempengaruhi akurasi MAT yang dihasilkan dari data arus lalu lintas, diantaranya adalah metode estimasi dan teknik pemilihan rute yang digunakan. Pada penelitian ini dikaji penggunaan teknik pemilihan rute tidak proporsional, yaitu pemilihan rute keseimbangan (equilibrium assignment), untuk melakukan estimasi MAT dengan berbagai jenis metode estimasi. Jenis metode estimasi yang akan ditinjau adalah Kuadrat Terkecil (KT), Kemiripan Maksimum (KM), Inferensi Bayes (IB), dan Entropi-Maksimum (EM). Penggunaan metode pemilihan rute ini memerlukan proses pengulangan, di mana proporsi pemilihan rute yang digunakan untuk menaksir MAT selanjutnya digunakan kembali untuk memperbaiki nilai proporsi tersebut. Dari penelitian ini dapat disimpulkan bahwa terdapat tingkat akurasi yang cukup tinggi dalam proses estimasi MAT. Hal tersebut ditunjukkan oleh nilai optimum fungsi tujuan serta hasil pengujian statistika.

**Kata-kata kunci:** pemodelan transportasi, matriks asal-tujuan, metode estimasi, distribusi perjalanan, pemilihan rute

## **PENDAHULUAN**

Pada hampir seluruh aplikasi perencanaan transportasi, input data yang paling sulit dan mahal diperoleh adalah matriks asal-tujuan (MAT). Metode yang telah dikembangkan untuk mendapatkan MAT secara garis besar dikelompokkan menjadi 2 (dua), yaitu metode konvensional dan metode tidak konvensional. Metode konvensional untuk mendapatkan MAT dilakukan melalui survei wawancara rumah tangga atau survei wawancara di tepi jalan. Survei tersebut biasanya memerlukan biaya yang besar, tenaga surveyor yang banyak, ketelitian yang tinggi dalam pengolahan data, waktu yang lama, serta umumnya mengganggu pengguna jalan.

Untuk mengatasi kendala tersebut, telah dikembangkan metode lain, yaitu metode tidak konvensional. Metode ini menggunakan informasi data arus lalu lintas di ruas jalan untuk memperkirakan MAT. Meskipun demikian, menurut Tamin (1988), terdapat beberapa faktor yang mempengaruhi akurasi MAT yang dihasilkan dari data arus lalu lintas, yaitu:

- (1) Pemilihan model kebutuhan akan transportasi
- (2) Metode estimasi untuk mengkalibrasi parameter model transportasi
- (3) Teknik pemilihan rute
- (4) Tingkat kesalahan pada data arus lalu lintas
- (5) Tingkat resolusi sistem zona dan sistem jaringan

Dengan meninjau faktor-faktor pengaruh tersebut, maka akurasi MAT yang dihasilkan dari informasi data arus lalu lintas akan dapat ditingkatkan.

Penelitian ini bertujuan untuk meninjau tingkat akurasi MAT yang dihasilkan dari informasi data arus lalu lintas yang dipengaruhi oleh faktor-faktor:

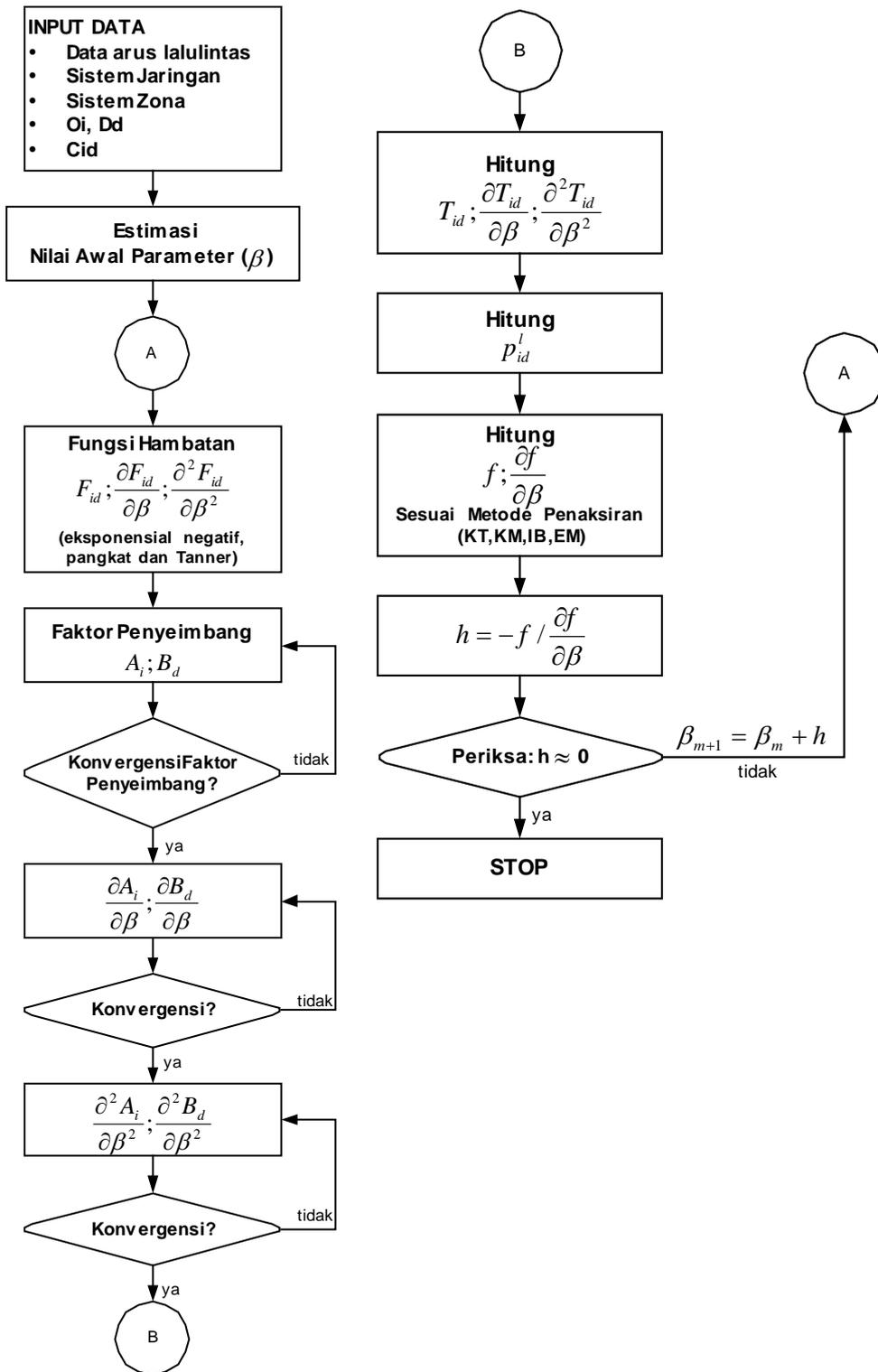
- (1) Metode Sebaran Pergerakan "Gravity"
- (2) Metode Estimasi Kuadrat Terkecil (KT), Kemiripan Maksimum (KM), Inferensi Bayes (IB), dan Entropi Maksimum (EM)
- (3) Teknik Pemilihan Rute Keseimbangan (Equilibrium Assignment)

Proses penggunaan teknik pemilihan rute keseimbangan memerlukan proses pengulangan, di mana nilai peubah proporsi pergerakan dari zona asal  $i$  ke zona tujuan  $d$  yang menggunakan ruas  $l$ , yang nilainya antara 0 dan 1, akan selalu berubah-ubah jika dilakukan perubahan terhadap MAT awal.

## **METODOLOGI STUDI**

### **Metodologi Penelitian**

Metodologi ini disusun agar setiap tahap kegiatan pada proses penelitian ini dapat berjalan dengan baik, sehingga dapat mencapai tujuan penelitian yang telah ditetapkan sebelumnya. Secara umum, metodologi ini dapat dilihat pada bagan alir yang terdapat pada Gambar 1.



**Gambar 1** Bagan Alir Metodologi Penelitian

## Model Gravity

Pada model gravity penyebaran pergerakan didasarkan pada aksesibilitas, bangkitan, dan tarikan dari zona asal ke zona tujuan. Gambaran tingkat kemudahan dalam mencapai zona tujuan dalam model ini dinyatakan dalam fungsi biaya perjalanan atau fungsi hambatan (impedance function). Model ini diilhami oleh konsep hukum gravity Newton (Tamin, 2000).

Persamaan model gravity adalah sebagai berikut:

$$T_{id} = O_i \cdot D_d \cdot A_i \cdot B_d \cdot f(C_{id}) \quad (1)$$

dengan:

$$A_i = \frac{1}{\sum_i (B_d D_d f(C_{id}))} \quad (2)$$

$$B_d = \frac{1}{\sum_d (A_i O_i f(C_{id}))} \quad (3)$$

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

$A_i ; B_d$  = faktor penyeimbang masing-masing untuk setiap asal  $i$  dan tujuan  $d$

$O_i$  = total pergerakan dari zona asal  $i$

$D_d$  = total pergerakan ke zona tujuan  $d$

$f(C_{id})$  = fungsi umum biaya perjalanan / fungsi hambatan

Persamaan fungsi hambatan, diantaranya, adalah:

Fungsi Pangkat :  $f(C_{id}) = C_{id}^{-\alpha}$  (4)

Fungsi eksponensial :  $f(C_{id}) = e^{-\beta C_{id}}$  (5)

Fungsi Tanner :  $f(C_{id}) = C_{id}^{\alpha} \cdot e^{-\beta C_{id}}$  (6)

Pada studi ini digunakan fungsi eksponensial sebagai fungsi hambatan. Hal tersebut mengingat fungsi ini lebih cocok digunakan untuk pergerakan jarak pendek (pergerakan dalam kota).

## Metode Estimasi Kuadrat Terkecil (KT)

Ide utama di balik metode penaksiran ini adalah mencoba mengkalibrasi parameter model transportasi yang tidak diketahui, sehingga meminimumkan jumlah perbedaan kuadrat antara arus lalu lintas hasil estimasi dan hasil pengamatan. Tetapi, seperti dinyatakan oleh Tamin (1998), fungsi tujuan model penaksiran ini lebih mengutamakan pengurangan perbedaan atau deviasi pada arus lalu lintas bervolume tinggi, dan bukan pada arus lalu lintas bervolume rendah.

Untuk mempertimbangkan hal ini, dapat digunakan jenis fungsi tujuan yang berbeda, yang dikenal dengan metode penaksiran kuadrat terkecil berbobot (KTB). Pada KTB, setiap perbedaan diberi bobot dan jumlah kuadratnya diminimumkan untuk meningkatkan kepentingan arus lalu lintas bervolume rendah. Menurut Tamin (1988), pembobotan dilakukan dengan memasukkan faktor pembagi yang sama dengan data arus lalu lintas hasil pengamatan.

Secara matematis, masalah kalibrasi dari metode penaksiran kuadrat terkecil (KT dan KTB) dapat dinyatakan sebagai berikut dengan  $\ddot{V}_1 = 1$  untuk KT atau  $\ddot{V}_1 = \hat{V}_1$  untuk KTB:

$$\text{Min } S = \sum_{i=1}^L \left[ \frac{(V_1 - \hat{V}_1)^2}{\ddot{V}_1} \right] \quad (7)$$

dengan:

$V_1$  = jumlah arus di ruas hasil estimasi

$\hat{V}_1$  = jumlah arus di ruas hasil pengamatan

Mendapatkan nilai parameter yang tidak diketahui ( $\alpha$  dan  $\beta$ ) dapat dilakukan dengan membuat turunan pertama S terhadap parameter tersebut sama dengan 0 (nol). Jika fungsi hambatan yang digunakan adalah fungsi eksponensial negatif, maka nilai parameternya bisa didapat dari:

$$\frac{\partial S}{\partial \alpha} = \sum_i \left[ \frac{1}{\dot{V}_1} \left\{ 2 \left( \sum_i \sum_d T_{id} \cdot p_{id}^1 - \hat{V}_1 \right) \left( \sum_i \sum_d \frac{\partial T_{id}}{\partial \alpha} \cdot p_{id}^1 \right) \right\} \right] = 0 \quad (8)$$

$$\frac{\partial S}{\partial \beta} = \sum_i \left[ \frac{1}{\dot{V}_1} \left\{ 2 \left( \sum_i \sum_d T_{id} \cdot p_{id}^1 - \hat{V}_1 \right) \left( \sum_i \sum_d \frac{\partial T_{id}}{\partial \beta} \cdot p_{id}^1 \right) \right\} \right] = 0 \quad (9)$$

Jumlah arus di ruas hasil estimasi dapat dinyatakan sebagai berikut:

$$V_1 = \sum_i \sum_d T_{id} \cdot p_{id}^1 \quad (10)$$

dengan  $T_{id}$  diperoleh dari model sebaran pergerakan dan proporsi pergerakan dari zona asal  $i$  ke zona tujuan  $d$  yang menggunakan ruas  $l$  diperoleh dari model pemilihan rute.

$$\frac{\partial V_1}{\partial \beta} = \sum_{i=1}^N \sum_{d=1}^N \left[ \frac{\partial T_{id}}{\partial \beta} \cdot p_{id}^1 \right] \quad (11)$$

$$\frac{\partial^2 V_1}{\partial \beta^2} = \sum_{i=1}^N \sum_{d=1}^N \left[ \frac{\partial^2 T_{id}}{\partial \beta^2} \cdot p_{id}^1 \right] \quad (12)$$

Persamaan tersebut adalah sistem persamaan simultan dengan 2 (dua) parameter  $\alpha$  dan  $\beta$  yang tidak diketahui. Metode kalibrasi Newton-Raphson yang dikombinasikan dengan teknik eliminasi matriks Gauss-Jordan bisa digunakan untuk menyelesaikan persamaan tersebut.

### Metode Estimasi Kemungkinan Maksimum (KM)

Tamin (1988, 1999) juga sudah membangun metode estimasi yang mencoba untuk memaksimalkan kemungkinan yang tercantum pada persamaan di bawah. Kerangka kerja metode estimasi KM adalah berupa pemilihan hipotesis H yang memaksimalkan persamaan di bawah dengan batasan tertentu, yang nantinya menghasilkan sebaran  $V_1$  yang paling sesuai dengan data hasil survey ( $\hat{V}_1$ ). Fungsi obyektif kerangka kerja ini adalah:

Memaksimumkan : 
$$L = c \cdot \prod_1 p_1^{\hat{V}_1} \quad (13)$$

dengan batasan : 
$$\sum_1 V_1 - \hat{V}_T = 0 \quad (14)$$

dengan:

$\hat{V}_T$  = arus total lalulintas hasil pengamatan

$c$  = konstanta, dimana  $p_1 = \frac{V_1}{\hat{V}_T}$

Dengan mensubstitusikan persamaan di atas, akhirnya fungsi obyektif metode estimasi KM dapat dinyatakan dalam persamaan:

maks: 
$$L_1 = \sum_1 \left[ \hat{V}_1 \cdot \log_e \left( \sum_i \sum_d T_{id} \cdot p_{id}^1 \right) - \theta \cdot \sum_i \sum_d T_{id} \cdot p_{id}^1 \right] + \theta \cdot \hat{V}_T - \hat{V}_T \cdot \log_e \hat{V}_T + \log_e c \quad (15)$$

tujuan parameter tambahan  $\theta$  adalah untuk menjamin agar persamaan pembatas  $\sum_1 V_1 - \hat{V}_T = 0$

selalu terpenuhi. Untuk mendapatkan nilai parameter  $\beta$  dan parameter tambahan  $\theta$ , diperlukan dua persamaan berikut:

$$\frac{\partial L_1}{\partial \beta} = \sum_1 \left[ \hat{V}_1 \cdot \frac{\sum_i \sum_d \frac{\partial T_{id}}{\partial \beta} \cdot p_{id}^1}{\sum_i \sum_d T_{id} \cdot p_{id}^1} \right] - \left( \theta \cdot \sum_i \sum_d \frac{\partial T_{id}}{\partial \beta} \cdot p_{id}^1 \right) = 0 \quad (16)$$

$$\frac{\partial L_1}{\partial \theta} = -\theta \cdot \left[ \sum_i \sum_d T_{id} \cdot p_{id}^1 - \hat{V}_T \right] = 0 \quad (17)$$

Persamaan di atas adalah sistem dengan 2 persamaan simultan yang mempunyai 2 parameter yang tidak diketahui  $\beta$  dan  $\theta$  yang harus di estimasi. Lagi, metode Newton-Raphson dikombinasikan dengan teknik eliminasi Gauss-Jordan dapat digunakan untuk menyelesaikan persamaan di atas.

### Metode Estimasi Inferensi Bayes (IB)

Tamin (1999) menyebutkan bahwa metode ini menggunakan suatu probabilitas subyektif untuk mengukur tingkat kepercayaan tentang suatu keadaan. Pada metode ini, pertimbangan subyektif berdasarkan intuisi, pengalaman, atau informasi yang tidak langsung, secara sistematis digabungkan dengan data pengamatan untuk mendapatkan suatu taksiran yang seimbang.

Ide utama metode estimasi Inferensi Bayes adalah dengan mengkombinasikan hipotesis yang ada dengan observasi yang akan menghasilkan suatu hipotesis baru. Jika seseorang percaya 100% pada hipotesis seseorang dan tidak ada observasi acak, bagaimanapun luar biasanya, akan mengubah pendapat seseorang dan hasil yang keluar akan identik dengan hipotesis awal. Pada sisi

lain, seseorang tidak begitu percaya akan hipotesis yang ada, tahap observasi akan memainkan peranan yang besar untuk menghasilkan suatu kesimpulan akhir.

Fungsi obyektif metode estimasi Inferensi Bayes (IB) adalah:

$$\text{Memaksimumkan: } IB(\tau_1 V_1) = \sum_{l=1}^L (\hat{V}_1 \log_e V_1) \quad (18)$$

Dengan mensubstitusi persamaan tersebut dengan persamaan  $V_1 = \sum_i \sum_d T_{id} \cdot p_{id}^1$ , fungsi obyektif dapat ditulis menjadi:

$$\text{Memaksimumkan: } IB(\tau_1 V_1) = \sum_{l=1}^L \left( \hat{V}_1 \log_e \left( \sum_i \sum_d T_{id} \cdot p_{id}^1 \right) \right) \quad (19)$$

Untuk menjadi nilai parameter  $\alpha$  dan  $\beta$ , dengan jalan memaksimumkan persamaan, diperlukan persamaan berikut:

$$\frac{\partial IB}{\partial \alpha} = \sum_{l=1}^L \left[ \left\{ \sum_{i=1}^N \sum_{d=1}^N \left( \frac{\partial T_{id}}{\partial \alpha} \cdot p_{id}^1 \right) \right\} \cdot \left( \frac{\hat{V}_1}{\sum_{i=1}^N \sum_{d=1}^N (T_{id} \cdot p_{id}^1)} \right) \right] = 0 \quad (20)$$

$$\frac{\partial IB}{\partial \beta} = \sum_{l=1}^L \left[ \left\{ \sum_{i=1}^N \sum_{d=1}^N \left( \frac{\partial T_{id}}{\partial \beta} \cdot p_{id}^1 \right) \right\} \cdot \left( \frac{\hat{V}_1}{\sum_{i=1}^N \sum_{d=1}^N (T_{id} \cdot p_{id}^1)} \right) \right] = 0 \quad (21)$$

Persamaan di atas adalah sistem dengan 2 persamaan simultan yang mempunyai 2 parameter yang tidak diketahui  $\alpha$  dan  $\beta$  yang harus di estimasi. Untuk kasus ini, sekali lagi metode Newton-Raphson yang dikombinasikan dengan teknik eliminasi Gauss-Jordan dapat digunakan untuk menyelesaikan persamaan di atas.

### Metode Estimasi Entropi Maksimum (EM)

Konsep dasar metode ini adalah sebagai berikut:

- (1) Metode estimasi ini dikembangkan dari analogi fisika, yang dalam bidang mekanika statika dikenal dengan konsep tentang metode penyusunan mikro tentang sistem tertentu seperti molekul gas
- (2) Bila dipandang dari model sebaran perjalanan dapat dikatakan bahwa pergerakan yang terjadi dianggap sebagai molekul gas yang dapat bergerak bebas, sehingga menghasilkan sebaran maksimum atau distribusinya di atas

Memperhatikan konsep dasar metode ini, selanjutnya dimulai dengan menyatakan suatu wilayah studi sebagai suatu sistem yang terdiri atas sejumlah elemen-elemen yang berbeda. Dalam hal ini ada tiga keadaan suatu sistem, yaitu:

- (1) micro states; mengidentifikasi perjalanan setiap orang

- (2) meso states; kumpulan dari micro states dengan tempat asal dan tujuan yang sama (T<sub>id</sub>)
- (3) macro states; kumpulan bangkitan dan tarikan (O<sub>i</sub> dan D<sub>d</sub>)

Tamin (1998) sudah merancang pendekatan entropi maksimum untuk mengkalibrasi parameter model gravity. Sekarang, pendekatan ini digunakan untuk menciptakan prosedur kalibrasi parameter yang tidak diketahui dari model sebaran pergerakan berdasarkan informasi data arus lalu lintas.

Wilson (1970), seperti tertulis dalam Tamin (2000), telah menjelaskan bahwa jumlah status mikro  $W\{V_l\}$  yang terkait dengan status meso  $V_l$  diperoleh dari:

$$W[V_l] = \frac{V_T!}{\prod_{l=1}^L V_l!} \tag{22}$$

Kunci untuk model metode umum ini adalah mengidentifikasi deskripsi daerah mikro, sedang, dan makro yang cocok, bersama dengan batasan level makro harus dapat menghasilkan solusi dari optimasi permasalahan. Dalam beberapa kasus, akan ada beberapa informasi tambahan dalam bentuk anggapan atau nilai lama dari daerah sedang, sebagai contoh data arus lalu lintas hasil pengamatan ( $V_l$ ). Secara matematis, fungsi obyektif dari metode estimasi EM dapat ditulis sebagai berikut:

Memaksimumkan:  $E_l = \log_e W'' = -\sum_{l=1}^L \left[ V_l \log_e \left( \frac{V_l}{\hat{V}_l} \right) - V_l + \hat{V}_l \right]$  (23)

Untuk menjadi nilai parameter  $\alpha$  dan  $\beta$ , dengan jalan memaksimumkan persamaan, diperlukan persamaan berikut:

$$\frac{\partial E_l}{\partial \alpha} = -\sum_{l=1}^L \left[ \sum_{i=1}^N \sum_{d=1}^N \left( \frac{\partial T_{id}}{\partial \alpha} \cdot p_{id}^l \right) \cdot \left( \log_e \frac{\sum_{i=1}^N \sum_{d=1}^N T_{id} \cdot p_{id}^l}{\hat{V}_l} \right) \right] = 0 \tag{24}$$

$$\frac{\partial E_l}{\partial \beta} = -\sum_{l=1}^L \left[ \sum_{i=1}^N \sum_{d=1}^N \left( \frac{\partial T_{id}}{\partial \beta} \cdot p_{id}^l \right) \cdot \left( \log_e \frac{\sum_{i=1}^N \sum_{d=1}^N T_{id} \cdot p_{id}^l}{\hat{V}_l} \right) \right] = 0 \tag{25}$$

Persamaan di atas adalah sistem dengan 2 persamaan simultan yang mempunyai 2 parameter yang tidak diketahui  $\alpha$  dan  $\beta$  yang harus di estimasi. Metode Newton-Raphson dikombinasikan dengan teknik eliminasi Gauss-Jordan dapat digunakan untuk menyelesaikan persamaan tersebut.

## ANALISIS DATA

Untuk mencari validasi setiap metode estimasi digunakan data arus lalu lintas Kota Bandung. Model jaringan jalan dibentuk sebagai wakil suplai jaringan jalan, yang terdiri atas 1238 ruas (total 2279 ruas jalan per arah) yang meliputi semua jalan arteri, kolektor, dan beberapa ruas jalan lokal penting. Model sistem zona yang mewakili sisi permintaan perjalanan terdiri atas 125 zona, dengan perincian 100 zona internal di wilayah Kota Bandung dan 25 zona eksternal di wilayah Kabupaten Bandung, Kota Cimahi, dan Kabupaten Sumedang.

Uji statistika yang dilakukan adalah uji Root Mean Square Error (RMSE maupun %RMSE), Mean Absolute Error (MAE maupun NMAE), dan koefisien determinasi ( $R^2$  dan  $SR^2$ ).

### Perilaku Setiap Model Estimasi

Dengan menggunakan data Kota Bandung, ada beberapa perilaku khusus setiap metode estimasi, seperti ditunjukkan pada Tabel 1, di mana diperlihatkan tingkat kinerja setiap metode estimasi yang bergantung pada kriteria tertentu. Tabel 1 dapat digunakan sebagai acuan untuk menentukan metode estimasi terbaik dan perilakunya terhadap beberapa faktor, yaitu akurasi, waktu proses, kepekaan terhadap kesalahan data arus lalu lintas, kepekaan terhadap kedalaman resolusi sistem zona dan jaringan, dan kepekaan terhadap jumlah data arus lalu lintas.

Tamin et al (1999) menggunakan skala pemeringkatan antara 1 hingga 8, yang digunakan untuk memperlihatkan kinerja metode estimasi, sesuai dengan setiap kriteria. Hal ini dilakukan untuk dapat menggabungkan dan sekaligus menyeragamkan beberapa skala kuantitatif yang berbeda-beda kriteria menjadi skala 1 hingga 8. Skala 1 menunjukkan kinerja paling buruk, sedangkan skala 8 menunjukkan kinerja terbaik.

**Tabel 1** Peringkat Kinerja Metode Estimasi Sesuai dengan Kriteria

Metode Estimasi	Kriteria				
	Akurasi	Waktu Proses Komputer	Kepekaan Terhadap Kesalahan Data Arus Lalu lintas	Kepekaan Terhadap Resolusi Sistem Zona dan Jaringan	Kepekaan Terhadap Jumlah Data Arus Lalu lintas
G KTTL	6	8	8	7	4
R KM	2	6	7	8	3
IB	1	6	6	5	1
ME	3	5	5	6	2
G KTTL	8	4	NA	NA	8
O KM	5	2	NA	NA	7
IB	4	3	NA	NA	5
ME	7	2	NA	NA	6

Sumber: Tamin et al (1999)

Terlihat dari kriteria akurasi dan kepekaan terhadap jumlah data arus lalu lintas, model GO dengan metode estimasi KTTL menunjukkan kinerja yang terbaik, sedangkan jika dilihat dari kriteria waktu proses, kepekaan terhadap kesalahan data arus lalu lintas, model GR dengan metode estimasi KTTL menunjukkan kinerja yang terbaik. Secara umum dapat disimpulkan bahwa metode estimasi KTTL menunjukkan kinerja yang terbaik di antara metode yang ada dilihat dari berbagai kriteria.

## Hasil Analisis Statistika

Tabel 2 menunjukkan nilai-nilai yang diperoleh dari analisis statistika terhadap volume lalu lintas hasil pengamatan dibandingkan dengan volume lalu lintas hasil estimasi. Beberapa kesimpulan yang dapat diambil dari Tabel 2 tersebut adalah:

- (1) Pada tingkat level arus, didapatkan bahwa model GO memberikan estimasi yang lebih baik. Tetapi dengan menimbang kriteria-kriteria yang lain, dapat diambil kesimpulan bahwa metode estimasi yang terbaik secara keseluruhan adalah kombinasi model GR dengan metode estimasi KT
- (2) Pendekatan metode estimasi sebaran pergerakan ini sangat menguntungkan, karena dari tingkat akurasi arus lalu lintas yang dihasilkan oleh metode estimasi hanya berbeda sedikit saja dengan arus lalu lintas yang dihasilkan oleh survey secara langsung.

**Tabel 2** Indikator Uji Statistika

No	Indikator Uji Statistika	Fungsi Tanner				
		Kuadrat-Terkecil	Kuadrat-Terkecil-Berbobot	Kemiripan-Maksimum	Inferensi-Bayes	Entropi-Maksimum
1	RMSE	1391,2075	1416,6268	1486,4076	1490,9651	1468,4908
2	%RMSE (%)	1,17517	1,1966	1,2556	1,2594	1,2404
3	MAE	10374,2656	10579,4355	10831,1064	10950,8105	10760,0986
4	NMAE (%)	157,7391	160,8587	164,6853	166,5054	163,6056
5	R <sup>2</sup>	0,9877	0,9872	0,9859	0,9858	0,9863
6	SR <sup>2</sup>	0,9884	0,9884	0,9873	0,9872	0,9876

## KESIMPULAN DAN REKOMENDASI

Penelitian ini mengkaji pengaruh model gravity terhadap akurasi perkiraan MAT berdasarkan data arus lalu lintas dalam kondisi pemilihan rute keseimbangan (equilibrium assignment). Pada kondisi tersebut nilai proporsi pemilihan ruas jalan  $i$  untuk pergerakan dari zona  $i$  ke zona  $d$  adalah antara 0 dan 1, serta bergantung pada nilai sel-sel dalam MAT.

Penelitian ini bertujuan untuk meninjau tingkat akurasi MAT yang dihasilkan dari informasi data arus lalu lintas yang dipengaruhi oleh faktor-faktor:

- (1) Metode Sebaran Pergerakan "Gravity"
- (2) Metode Estimasi Kuadrat Terkecil (KT), Kemiripan Maksimum (KM), Inferensi Bayes (IB), dan Entropi Maksimum (EM)
- (3) Teknik Pemilihan Rute Keseimbangan (Equilibrium Assignment)

Hasil estimasi menunjukkan bahwa metode estimasi yang mempunyai tingkat kinerja terbaik adalah metode estimasi Kuadrat Terkecil Tidak Berbobot (KT). Hal tersebut didasarkan pada nilai hasil uji statistika.

## DAFTAR PUSTAKA

- Tamin, O.Z. 1988. *The Estimation of Transport Demand Models from Traffic Counts*. PhD Dissertation of the University of London, University College London.
- Tamin, O.Z. and Willumsen, L.G. 1988. *Transport Demand Model Estimation from Traffic Counts*. Journal of Transportation, UK.
- Tamin, O.Z., Sjafruddin, A. dan Hidayat, H. 1999. *Dynamic Origin-Destination (O-D) Matrices Estimation from Real Traffic Count Information*. 3rd EASTS Conference Proceeding, Taipei.
- Tamin, O.Z. 2000. *Perencanaan dan Pemodelan Transportasi*. Edisi 2, Penerbit ITB, Bandung.
- Tamin, O.Z. et al. 2000. *Dynamic Origin-Destination (OD) Matrices Estimation from Real Time Traffic Count Information*. Laporan Tahap I, Graduate Team Research Grant, Batch IV, University Research for Graduate Education (URGE) Project. Bandung.
- Tamin, O.Z. et al. 2001. *Dynamic Origin-Destination (OD) Matrices Estimation from Real Time Traffic Count Information*. Laporan Akhir, Graduate Team Research Grant, Batch IV, University Research for Graduate Education (URGE) Project. Bandung.
- Willumsen, L.G. 1981. *An Entropy Maximising Model for Estimating Trip Matrices from Traffic Counts*. PhD Thesis, Department of Civil Engineering, University of Leeds.

