

# ESTIMASI MODEL KEBUTUHAN TRANSPORTASI MENGUNAKAN DATA ARUS LALU LINTAS PADA KONDISI PEMILIHAN RUTE KESEIMBANGAN

**Rusmadi Suyuti**

Staf Pengajar

Jurusan Teknik Sipil

Universitas Muhammadiyah Jakarta

Jln. Cempaka Putih Tengah 27, Jakarta Pusat –10510

Telp: (021) 4288 2505 Fax: (021) 425 6023

E-mail: rusmadisuyuti@yahoo.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

Masalah-masalah yang timbul di dalam sistem transportasi memerlukan Matriks Asal-Tujuan (MAT) sebagai input utama yang merepresentasikan pola perjalanan pada suatu wilayah perencanaan. Metode untuk mendapatkan MAT dapat dikelompokkan menjadi Metode Konvensional dan Metode berdasarkan data arus lalu lintas (biasanya disebut Metode Tidak Konvensional). Metode Tidak Konvensional merupakan suatu metode estimasi yang cukup efektif dan ekonomis karena data utama yang dibutuhkannya adalah data arus lalu lintas yang untuk memperolehnya membutuhkan biaya yang murah, banyak tersedia dan mudah didapat. MAT yang dihasilkan dari data arus lalu lintas selanjutnya dapat dibedakan menjadi dua kondisi yaitu MAT pada kondisi saat ini dan MAT yang diprediksi untuk masa mendatang. Estimasi MAT pada kondisi saat ini digunakan sebagai input dalam memprakirakan MAT di masa mendatang. Salah satu cara yang dapat dilakukan adalah dengan memodelkan perilaku kebutuhan transportasi di dalam wilayah studi. Tujuan penelitian ini adalah melanjutkan pengembangan metode estimasi model kebutuhan transportasi berdasarkan informasi data arus lalu lintas, dalam meninjau faktor-faktor yang berpengaruh terhadap keakuratan MAT. Model yang dikembangkan selanjutnya di uji menggunakan data Kota Bandung dan sekitarnya. Hasil yang diperoleh menunjukkan bahwa MAT hasil estimasi menunjukkan tingkat kesesuaian yang tinggi terhadap MAT hasil pengamatan. Metode uji statistik yang digunakan adalah: *Root Mean Square Error (RMSE)*, *Mean Absolute Error (MAE)*, *Normalised Mean Absolute Error (NMAE)* dan Koefisien Determinasi ( $R^2$  dan  $SR^2$ ). Hasil penelitian menyimpulkan bahwa model GO selalu menghasilkan arus lalu lintas hasil estimasi yang terbaik. Jika dipertimbangkan beberapa kriteria tambahan, maka secara keseluruhan metode estimasi yang terbaik adalah kombinasi antara model GR dengan metode estimasi KTB. Disamping itu, dari hasil yang diperoleh, penggunaan metode pemilihan rute keseimbangan mempunyai pengaruh yang sangat signifikan jika dibandingkan dengan penggunaan metode *all-or-nothing*.

**Kata-kata kunci:** model kebutuhan transportasi, arus lalu lintas, model estimasi, model *gravity*, model 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 tersebut menggunakan informasi data arus lalu lintas di ruas jalan untuk memprakirakan MAT.

MAT yang dihasilkan dari informasi arus lalu lintas selanjutnya dapat dibedakan menjadi 2 (dua) kondisi yaitu MAT yang ada pada kondisi saat ini dan MAT yang diprediksi untuk menggambarkan kondisi pergerakan di masa mendatang. Pada kasus pertama, MAT menggambarkan pola perjalanan pada kondisi yang berlaku saat ini. Sedangkan pada kasus kedua, prediksi tata guna lahan dan sosial ekonomi diperlukan untuk memprakirakan MAT di masa mendatang, dan selanjutnya untuk menghasilkan prakiraan arus lalu lintas di masa mendatang. Estimasi MAT pada kondisi saat ini diperlukan untuk menyelesaikan banyak tugas-tugas di bidang manajemen transportasi. Disamping itu MAT tersebut juga digunakan sebagai input dalam memprakirakan MAT di masa mendatang untuk keperluan perencanaan transportasi. Salah satu cara yang dapat dilakukan untuk memprakirakan MAT masa mendatang adalah dengan memodelkan perilaku lalu lintas atau kebutuhan transportasi di dalam wilayah studi.

Pada penelitian sebelumnya, Tamin (1988) dan Tamin *et al*, (2000) telah mengembangkan suatu metode estimasi model kebutuhan transportasi dengan menggunakan model sebaran pergerakan *Gravity* (GR) dan *Gravity-Opportunity* (GO). Sedangkan metode estimasi yang digunakan mengkalibrasi parameter model tersebut adalah metode Kuadrat-Terkecil (KT) dan Kemiripan-Maksimum (KM), Inferensi-Bayes (IB) dan Entropi-Maksimum (EM). Disamping itu juga ditinjau faktor-faktor pengaruh lainnya, seperti: lokasi terbaik data arus lalu lintas, jumlah optimum data arus lalu lintas, pengaruh tundaan di simpang, pengaruh fluktuasi arus lalu lintas serta kombinasi model Sebaran Pergerakan-Pemilihan Moda.

Kedua metode terdahulu tersebut menggunakan teknik pemilihan rute proporsional, dimana proporsi pemilihan rute ( $p_{id}^l$ ) tidak tergantung pada volume arus lalu lintas. Contoh yang paling umum untuk jenis ini adalah pemilihan rute *all-or-nothing*. Metode tersebut membuat proses estimasi menjadi lebih sederhana karena nilai  $p_{id}^l$  dapat diestimasi sebelumnya dan secara tersendiri (*independent*). Meskipun demikian pada kondisi di wilayah perkotaan dimana sering terjadi kemacetan, teknik pemilihan rute proporsional tersebut menjadi kurang realistis.

Berdasarkan kondisi tersebut, maka penelitian ini bertujuan untuk melanjutkan penelitian-penelitian terdahulu, khususnya dengan cara mengembangkan teknik pemilihan rute tidak proporsional seperti pemilihan rute keseimbangan (*equilibrium assignment*) untuk menentukan nilai  $p_{id}^l$ . Dengan metode ini nilai  $p_{id}^l$  tidak dapat diestimasi sebelumnya, karena merupakan fungsi dari arus lalu lintas. Penggunaan metode pemilihan rute tidak proporsional tersebut mengakibatkan proses iterasi menjadi lebih kompleks dan lebih lama.

## **METODOLOGI STUDI**

### **Metodologi Penelitian**

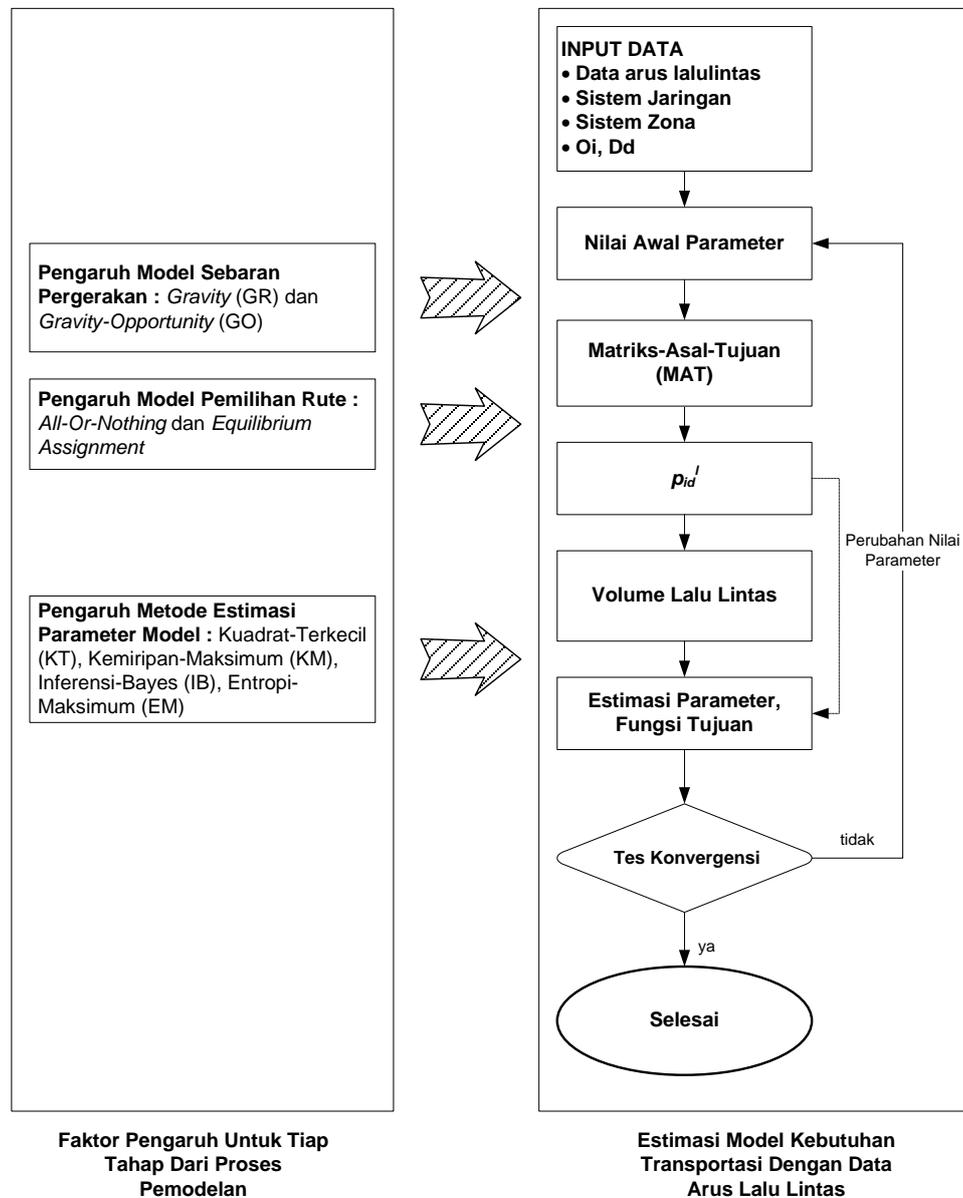
Metodologi ini disusun agar setiap tahap kegiatan dari proses penelitian ini dapat berjalan dengan baik, sehingga dapat mencapai tujuan penelitian yang telah ditetapkan sebelumnya. Secara umum, metodologi ini dapat dilihat dalam bagan alir pada Gambar 1.

### **Pengaruh Model Sebaran Pergerakan**

#### *Model Gravity (GR)*

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).



**Gambar 1** Metodologi Penelitian

Persamaan model *gravity* adalah sebagai berikut:

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

dengan:

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

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

$T_{id}$  = 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:

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

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

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

### Model Gravity-Opportunity (GO)

Tamin (2000) menyatakan bahwa model Intervening-Opportunity telah dikembangkan oleh Stouffer pada tahun 1940, dengan mengasumsikan bahwa jumlah pergerakan dari suatu zona asal ke zona tujuan adalah berbanding lurus dengan jumlah kesempatan pada zona tujuan, dan berbanding terbalik dengan jumlah kesempatan-antara.

Jadi, model Gravity kurang memperhatikan efek Intervening, sedangkan model Opportunity tidak memperhatikan efek aksesibilitas, sehingga secara logis, model yang ideal akan diperoleh dengan menggabungkan kedua efek tersebut dalam satu model, yaitu model Gravity-Opportunity (GO). Bentuk dasar model GR dan IO bisa didapat sebagai kasus khusus. Jadi pemilihan antara pendekatan model GR atau IO diputuskan secara empirik dan statistik dengan menggunakan batasan parameter yang mengontrol bentuk fungsi mekanisme penyebaran pergerakan.

Tamin (2000) mengusulkan formulasi model GO sebagai berikut:

$$T_{id} = O_i \cdot D_d \cdot A_i \cdot B_d \cdot f_{id} \quad (7)$$

dengan:

$A_i$  dan  $B_d$  didefinisikan sebagai persamaan (2) dan (3)

$$f_{id} = \sum_j [\delta_{jd}^{i-1} \cdot F_{ij}] \quad (8)$$

$$F_{ij} = \left( \sum_p^j U_{ip} \right)^{(\varepsilon, \mu)} - \left( \sum_p^{j-1} U_{ip} \right)^{(\varepsilon, \mu)} \quad (9)$$

$$U_{ip} = \exp[(1 - \varepsilon) \cdot \alpha \cdot D_p^{i(\Omega)} - \beta \cdot C_{ip}^{(\Phi)}] \quad (10)$$

$$D_j^i = \sum_d [\delta_{jd}^i \cdot D_d] \quad (11)$$

Parameter ( $\Omega$ ,  $\Phi$ ) dipilih terlebih dahulu, di luar proses kalibrasi (lihat Tabel 1). Transformasi ( $\varepsilon$ ,  $\mu$ ) didefinisikan dengan Tabel 2.

### Spesifikasi Faktor Kesempatan

Spesifikasi faktor kesempatan merupakan pernyataan dari kombinasi faktor kesempatan dan faktor hambatan. Secara umum ada empat kombinasi yang biasa dipakai dalam perhitungan model gravity-opportunity, seperti yang terlihat pada tabel berikut. Parameter yang menentukan spesifikasi adalah  $\Omega$  dan  $\Phi$ .  $\Omega$  merupakan parameter bagi spesifikasi fungsi kesempatan sedangkan  $\Phi$  parameter bagi fungsi hambatan. Nilai 0 bagi

parameter tersebut menandakan spesifikasi fungsi tersebut adalah jenis pangkat, sedangkan jika nilainya satu merupakan jenis eksponensial.

**Tabel 1** Spesifikasi Fungsi Kesempatan

$\Omega$	$\Phi$	Kesempatan-Antara	Hambatan	$U_{ip}$
$\Omega$	$\Phi$	$\exp[(1-\varepsilon).\alpha.D_p^{i(\Omega)}]$	$\exp[-\beta.C_{ip}^{(\Phi)}]$	$\exp[(1-\varepsilon).\alpha.D_p^{i(\Omega)} - \beta.C_{ip}^{(\Phi)}]$
1	1	$\exp[(1-\varepsilon).\alpha.D_p^i]$	$\exp[-\beta.C_{ip}]$	$\exp[(1-\varepsilon).\alpha.D_p^i - \beta.C_{ip}]$
0	0	$D_{pi}^{\alpha(1-\varepsilon)}$	$C_{ip}^{-\beta}$	$D_{pi}^{\alpha(1-\varepsilon)}.C_{ip}^{-\beta}$
1	0	$\exp[(1-\varepsilon).\alpha.D_p^i]$	$C_{ip}^{-\beta}$	$\exp[(1-\varepsilon).\alpha.D_p^i - \beta.\log_e C_{ip}]$
0	1	$D_{pi}^{\alpha(1-\varepsilon)}$	$\exp[-\beta.C_{ip}]$	$\exp[(1-\varepsilon).\alpha.\log_e D_p^i - \beta.C_{ip}]$

Sumber : Wills (1986) seperti ditulis dalam Tamin (2000)

**Tabel 2** Spesifikasi Faktor Proporsi

Bentuk	$\mu$	$\varepsilon$	Cumulative Opportunities ( $X_{ij}$ )	Faktor Proporsi ( $F_{ij}$ )
GO	$0 \leq \mu \leq 1$	$0 \leq \varepsilon \leq 1$	$\left(\sum_p^j U_{ip}\right)^{(\varepsilon, \mu)}$	$\left(\sum_p^j U_{ip}\right)^{(\varepsilon, \mu)} - \left(\sum_p^{j-1} U_{ip}\right)^{(\varepsilon, \mu)}$
LO	1	0	$\log_e \left(\sum_p^j U_{ip}\right)$	$\log_e \left(\sum_p^j U_{ip}\right) - \log_e \left(\sum_p^{j-1} U_{ip}\right)$
DO	1	$0 \leq \varepsilon \leq 1$	$\left(\sum_p^j U_{ip}\right)^{(\varepsilon)}$	$\left(\sum_p^j U_{ip}\right)^{(\varepsilon)} - \left(\sum_p^{j-1} U_{ip}\right)^{(\varepsilon)}$
GR	$0 \leq \mu \leq 1$	1	$\left(\sum_p^j U_{ip}\right)$	$U_{ip}$
IO	0	$0 \leq \varepsilon \leq 1$	$\left(\sum_p^j U_{ip}\right)^{1/\varepsilon}$	$\left(\sum_p^j U_{ip}\right)^{1/\varepsilon} - \left(\sum_p^{j-1} U_{ip}\right)^{1/\varepsilon}$
EO	0	0	$\exp\left(\sum_p^j U_{ip}\right)$	$\exp\left(\sum_p^j U_{ip}\right) - \exp\left(\sum_p^{j-1} U_{ip}\right)$
BO	$0 \leq \mu \leq 1$	0	$\mu \log_e \left(\sum_p^j U_{ip}\right) + (1-\mu)\exp\left(\sum_p^j U_{ip}\right)$	$\mu \left[ \log_e \left(\sum_p^j U_{ip}\right) - \log_e \left(\sum_p^{j-1} U_{ip}\right) \right] + (1-\mu) \left[ \exp\left(\sum_p^j U_{ip}\right) - \exp\left(\sum_p^{j-1} U_{ip}\right) \right]$

Sumber: Wills (1986) seperti ditulis dalam Tamin (2000)

## Struktur Faktor Proporsi

Sebagaimana sebuah fungsi kontinyu pernyataan sebuah peluang selalu dinyatakan dari selisih dua buah peluang kumulatif. Dalam perhitungan model gravity-opportunity, struktur fungsi kesempatan dinyatakan sebagai kombinasi dari  $\epsilon$  dan  $\mu$ . Dari kombinasi dua parameter tersebut secara garis besar dapat dikelompokkan 6 struktur fungsi yaitu: *Logaritmic-Opportunity* (LO), *Direct-Opportunity* (DO), *Gravity* (GR), *Inverse-Opportunity* (IO), *Exponential-Opportunity* (EO) dan *Blended-Opportunity* (BO).

## Pengaruh Metode Estimasi

### *Metode Estimasi Kuadrat-Terkecil (KT)*

Metode estimasi ini mencoba mengkalibrasi parameter model transportasi yang tidak diketahui sehingga meminimumkan jumlah perbedaan kuadrat antara arus lalu lintas hasil estimasi dan hasil pengamatan.

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

$$\text{Minimum } S = \sum_{l=1}^L \left[ \frac{(V_l - \hat{V}_l)^2}{\ddot{V}_l} \right] \quad (12)$$

dimana :

$V_l$  = jumlah arus di ruas hasil estimasi

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

### *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 dari metode estimasi KM adalah berupa pemilihan hipotesis H yang memaksimalkan persamaan di bawah dengan batasan tertentu, yang nantinya menghasilkan sebaran  $V_l$  yang paling sesuai dengan data hasil survey ( $\hat{V}_l$ ). Fungsi obyektif dari kerangka kerja ini adalah:

$$\text{Memaksimalkan : } L = c \cdot \prod_l p_l^{\hat{V}_l} \quad (13)$$

$$\text{Dengan batasan: } \sum_l V_l - \hat{V}_T = 0 \quad (14)$$

dengan:

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

$c$  = konstanta, dimana  $p_l = \frac{V_l}{\hat{V}_T}$

### *Metode Estimasi Inferensi-Bayes (IB)*

Tamin (1999) menyebutkan, 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.

Fungsi obyektif dari metode estimasi Inferensi-Bayes (IB) adalah :

$$\text{Maksimumkan } \mathbf{IB}(\tau_l V_l) = \sum_{l=1}^L \left( \hat{V}_l \log_e \left( \sum_{i=1}^N \sum_{d=1}^N T_{id} \cdot p_{id}^l \right) \right) \quad (15)$$

### *Metode Estimasi Entropi-Maksimum (EM)*

Menurut Tamin (2000), metode estimasi entropi maksimum dikembangkan dari analogi fisika yaitu konsep tentang metode penyusunan mikro suatu sistem tertentu misalnya molekul gas. Pada model sebaran pergerakan diasumsikan bahwa pergerakan yang terjadi seperti molekul gas yang dapat bergerak bebas, sehingga menghasilkan sebaran maksimum. Dalam hal model sebaran perjalanan, pergerakan yang terjadi dapat dianggap sebagai molekul gas yang dapat bergerak bebas sehingga sebarannya maksimum atau distribusinya merata. Hal tersebut merupakan konsep dasar dari pengembangan metode estimasi entropi maksimum.

Fungsi tujuan dari model estimasi entropi maksimum adalah sebagai berikut:

Memaksimumkan

$$E_1 = - \sum_{l=1}^L \left[ \sum_{i=1}^N \sum_{d=1}^N T_{id} \cdot p_{id}^l \cdot \log_e \left( \frac{\sum_{i=1}^N \sum_{d=1}^N T_{id} \cdot p_{id}^l}{\hat{V}_l} \right) - \left( \sum_{i=1}^N \sum_{d=1}^N T_{id} \cdot p_{id}^l \right) + \hat{V}_l \right] \quad (16)$$

## **Pengaruh Metode Pemilihan Rute**

### *Metode Pemilihan Rute All-Or-Nothing*

Metode ini mengasumsikan bahwa proporsi pengendara dalam memilih rute yang diinginkan hanya tergantung pada asumsi pribadi, ciri fisik setiap ruas jalan yang akan dilaluinya, dan tidak tergantung pada tingkat kemacetan.

Model ini merupakan model pemilihan rute yang paling sederhana, yang mengasumsikan bahwa semua pengendara berusaha meminimumkan biaya perjalanannya yang tergantung pada karakteristik jaringan jalan dan asumsi pengendara. Jika semua pengendara memperkirakan biaya ini dengan cara yang sama, pastilah mereka memilih rute yang sama. Biaya ini dianggap tetap dan tidak dipengaruhi oleh efek kemacetan.

### *Metoda Pemilihan Rute Keseimbangan (Equilibrium Assignment)*

Jika seseorang mengabaikan efek stokastik dan menganggap batasan-kapasitas sebagai salah satu mekanisme proses penyebaran pergerakan dalam suatu jaringan, dia harus mempertimbangkan beberapa set model. Sebagai contoh: model batasan-kapasitas harus menggunakan fungsi yang mengaitkan pergerakan dengan waktu tempuh. Model ini menggunakan prinsip keseimbangan Wardrop (1952).

Asumsi dasar pemodelan keseimbangan adalah, pada kondisi tidak macet, setiap pengendara akan berusaha meminimumkan biaya perjalanannya dengan beralih menggunakan rute alternatif. Bagi pengendara tersebut, biaya dari semua alternatif rute yang ada diasumsikan diketahui secara implisit dalam pemodelan. Jika tidak satupun pengendara dapat memperkecil biaya tersebut, maka sistem dikatakan telah mencapai kondisi keseimbangan.

## ANALISIS DATA

Untuk mencari validasi dari setiap metode estimasi digunakan data arus lalu lintas dari Kota Bandung. Model jaringan jalan dibentuk sebagai wakil suplai jaringan jalan terdiri dari 1238 ruas (total 2279 ruas jalan per arah) yang meliputi semua jalan arteri, kolektor dan beberapa ruas jalan local penting. Model sistem zona yang mewakili sisi permintaan perjalanan terdiri dari total 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 statistik yang dilakukan adalah tes Root Mean Square Error (RMSE maupun %RMSE), Mean Absolute Error (MAE maupun NMAE) dan koefisien determinasi ( $R^2$  dan  $SR^2$ ).

### Pengaruh Model Sebaran Pergerakan

#### *Model Sebaran Pergerakan Gravity (GR)*

Hasil estimasi parameter model kebutuhan transportasi yang dihasilkan untuk berbagai jenis model GR adalah ditunjukkan pada **Tabel 3**. Proses tersebut dilakukan dengan metode estimasi Kuadrat-Terkecil-Berbobot (KTB), fungsi hambatan eksponensial-negatif dan metode pemilihan rute keseimbangan (*equilibrium assignment*).

**Tabel 3** Hasil Estimasi Parameter Model Transportasi Menurut Jenis Model GR

No.	Model Gravity	Fungsi Eksponensial-Negatif	
		$\beta$	Fungsi Tujuan
1	Batasan-bangkitan	0,117298	167710,515
2	Batasan-tarikan	0,146357	245954,062
3	Batasan-bangkitan-tarikan	0,060252	58142,598

Dari Tabel 3 dapat dilihat bahwa dari ketiga jenis model GR, model GR dengan batasan-bangkitan-tarikan menghasilkan tingkat keakurasian yang paling baik dibandingkan jenis model GR lainnya. Hal tersebut ditunjukkan berdasarkan nilai minimum dari fungsi tujuan dari metode estimasi KTB, dimana jenis batasan-bangkitan-tarikan nilainya paling kecil.

Berdasarkan hasil estimasi untuk model batasan-bangkitan-tarikan, selanjutnya dilakukan estimasi parameter menurut jenis fungsi hambatan. Hasil estimasi parameter model kebutuhan transportasi yang dihasilkan untuk berbagai jenis fungsi hambatan adalah ditunjukkan pada Tabel 4.

**Tabel 4** Hasil Estimasi Parameter Model Transportasi Menurut Jenis Fungsi Hambatan

No.	Fungsi Hambatan	Batasan-Bangkitan-Tarikan		
		$\alpha$	$\beta$	Fungsi Tujuan
1	Eksponensial-Negatif	-	0,060252	58142,5976
2	Pangkat	-	0,728481	50267,9843
3	Tanner	0,959449	-0,021262	44839,0234

Dari Tabel 4 dapat dilihat bahwa hasil perbandingan antara tiap jenis fungsi hambatan menunjukkan bahwa fungsi hambatan Tanner memberikan tingkat kinerja yang terbaik. Hal tersebut ditunjukkan berdasarkan nilai minimum dari fungsi tujuan dari metode estimasi KTB. Setelah fungsi Tanner, urutan terbaik selanjutnya adalah fungsi pangkat. Fungsi ini kinerjanya lebih baik dibandingkan dengan fungsi eksponensial-negatif.

Jika dikombinasikan dengan jenis model GR seperti telah dibahas sebelumnya, maka kinerja terbaik ditunjukkan oleh jenis model GR batasan-bangkitan-tarikan (DCGR) dengan fungsi hambatan Tanner.

#### *Model Sebaran Pergerakan Gravity-Opportunity (GO)*

Dalam penerapan model ini, digunakan kombinasi nilai parameter  $\Omega$  dan  $\Phi$  sebagai berikut :  $\Omega=1$  dan  $\Phi=1$ ;  $\Omega=1$  dan  $\Phi=0$ ;  $\Omega=0$  dan  $\Phi=1$  serta  $\Omega=0$  dan  $\Phi=0$ . Sedangkan parameter *Box-Cox*  $\varepsilon$  dan  $\mu$  ditetapkan di luar proses kalibrasi utama. Dengan menentukan kombinasi dari  $\varepsilon$  dan  $\mu$ , nilai fungsi tujuan dan parameter  $\alpha$  dan  $\beta$  diestimasi berdasarkan nilai awal parameter  $\alpha$  dan  $\beta$ .

Hasil penerapan pada data Kota Bandung menunjukkan bahwa kombinasi parameter model GO dengan nilai fungsi tujuan yang optimum untuk masing-masing metode estimasi ternyata menuju pada satu nilai kombinasi, terutama pada kombinasi parameter  $\varepsilon$  dan  $\mu$  di mana  $\varepsilon=0,9$  dan  $\mu=0,1$ . Sedangkan nilai  $\alpha$  dan  $\beta$  yang diperoleh relatif berdekatan. Pada akhirnya, pengujian statistik arus estimasi untuk masing-masing metodepun menghasilkan nilai yang relatif berdekatan.

Hasil estimasi parameter model kebutuhan transportasi yang dihasilkan dengan Model GO untuk berbagai jenis kombinasi fungsi kesempatan (nilai  $\Omega$  dan  $\Phi$ ) adalah ditunjukkan pada Tabel 5. Proses tersebut dilakukan dengan metode estimasi Kuadrat-Terkecil-Berbobot (KTB) dan metode pemilihan rute keseimbangan (*equilibrium assignment*).

**Tabel 5** Hasil Estimasi Parameter Model Transportasi Menurut Jenis Model GO

No.	Nilai $\Omega$ dan $\Phi$	$\alpha$	$\beta$	Fungsi Tujuan
1	$\Omega = 1, \Phi = 1$	- 0,004616	0,076779	51725,2539
2	$\Omega = 1, \Phi = 0$	0,010389	0,927236	51733,5078
3	$\Omega = 0, \Phi = 1$	2,100345	0,080499	54386,3632
4	$\Omega = 0, \Phi = 0$	0,910340	0,908528	51455,0078

Dari Tabel 5 dapat dilihat bahwa keempat kombinasi spesifikasi fungsi kesempatan menunjukkan tingkat kinerja relatif hampir sama antara satu dengan lainnya.

#### **Pengaruh Metode Estimasi Parameter**

Hasil estimasi parameter model kebutuhan transportasi yang dihasilkan untuk berbagai jenis metode estimasi adalah ditunjukkan pada **Tabel 6**. Proses tersebut dilakukan dengan model GR dengan batasan-bangkitan-tarikan, fungsi hambatan eksponensial-negatif dan metode pemilihan rute keseimbangan (*equilibrium assignment*). Model batasan-bangkitan-tarikan dipilih karena berdasarkan hasil simulasi pada bagian sebelumnya, menunjukkan kinerja yang terbaik jika dibandingkan dengan model batasan-bangkitan maupun batasan-tarikan.

**Tabel 6** Hasil Estimasi Parameter Model Transportasi Menurut Jenis Metode Estimasi pada Kondisi Model GR Batasan-Bangkitan-Tarikan dan Pemilihan Rute Keseimbangan

No.	Metode Estimasi	GR	
		$\beta$	Fungsi Tujuan
1	Kuadrat-Terkecil (KT)	0,060252	47349752,0000
2	Kuadrat-Terkecil-Berbobot (KTB)	0,068619	62175,1445
3	Kemiripan-Maksimum (KM)	0,067810	13279375,0000
4	Inferensi-Bayes (IB)	0,059928	13284560,0000
5	Entropi-Maksimum (EM)	0,063099	-24061,0330

Dari Tabel 6 dapat dilihat bahwa masing-masing metode estimasi menghasilkan parameter  $\beta$  yang nilainya hampir sama antara satu metode dengan metode yang lainnya. Untuk menentukan tingkat kinerja tidak bisa menggunakan parameter nilai fungsi tujuan, karena metode mencari fungsi tujuan berbeda antara satu metode dengan metode lainnya.

### Pengaruh Metode Pemilihan Rute

Hasil estimasi parameter model kebutuhan transportasi yang dihasilkan pada kondisi pemilihan rute keseimbangan (*equilibrium assignment*) dan pemilihan rute *all-or-nothing* untuk berbagai jenis metode estimasi adalah ditunjukkan pada Tabel 7. Proses tersebut dilakukan dengan model GR dengan batasan-bangkitan-tarikan, fungsi hambatan eksponensial-negatif serta metode estimasi KTB. Untuk model GO digunakan kombinasi fungsi kesempatan  $\Omega=0$  dan  $\Phi=0$ , faktor proporsi  $\varepsilon=0,9$  dan  $\mu=0,1$  serta metode estimasi KTB.

**Tabel 7** Hasil Estimasi Parameter Model Transportasi Menurut Jenis Pemilihan Rute

No.	Metode Pemilihan Rute	GR		GO		
		$\beta$	Fungsi Tujuan	$\alpha$	$\beta$	Fungsi Tujuan
1	Keseimbangan	0,068619	62175,14	0,910340	0,90853	51455,01
2	All-Or-Nothing	0,127845	144568,33	-0,004820	0,12795	130294,19

Dari Tabel 7 dapat dilihat bahwa jika dibandingkan dari nilai fungsi tujuan, maka penggunaan metode pemilihan rute keseimbangan jauh lebih baik dari pada penggunaan metode pemilihan rute *all-or-nothing*.

### KESIMPULAN DAN REKOMENDASI

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

- (1) Metode Sebaran Pergerakan Gravity (GR) dan Gravity-Opportunity (GO)
- (2) Metode Estimasi Kuadrat-Terkecil (KT), Kemiripan-Maksimum (KM), Inferensi-Bayes (IB) dan Entropi-Maksimum (EM)
- (3) Teknik Pemilihan Rute All-Or-Nothing dan Keseimbangan (*Equilibrium Assignment*)

Berdasarkan simulasi berbagai faktor-faktor pengaruh (model kebutuhan transportasi, metode estimasi parameter dan metode pemilihan rute) seperti telah diuraikan di atas, maka model yang menghasilkan tingkat keakurasian paling tinggi adalah metode GO yang dikombinasikan dengan metode estimasi KTB dan metode pemilihan rute keseimbangan (*equilibrium assignment*). Penggunaan model GO tersebut menghasilkan

tingkat keakurasian yang hanya 'sedikit' lebih baik jika dibandingkan menggunakan model GR. Jika digunakan model GR, maka kombinasi terbaik dihasilkan dengan metode estimasi KTB yang dikombinasikan dengan model batasan-bangkitan-tarikan (DCGR) dengan fungsi hambatan perjalanan Tanner.

Jika dibandingkan antara tingkat keakurasian yang dihasilkan serta mempertimbangkan kriteria-kriteria lainnya seperti: kompleksitas perhitungan serta lamanya waktu proses menggunakan komputer, maka diusulkan untuk menggunakan model GR sebagai dasar untuk estimasi model kebutuhan transportasi. Dalam hal ini model GR yang diusulkan, dikombinasikan dengan metode estimasi KTB, dengan model batasan-bangkitan-tarikan (DCGR) dan dengan fungsi hambatan perjalanan Tanner.

## 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*. 3<sup>rd</sup> EASTS Conference Proceeding, Taipei 15–17 September 1999, hosted by Chinese Institute of Transportation, 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.
- 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.
- Willumsen, L.G. 1981. *An Entropy Maximising Model for Estimating Trip Matrices From Traffic Counts*. PhD Thesis, Department of Civil Engineering, University of Leeds.

