

# **PENGGUNAAN MODEL *GRAVITY-OPPORTUNITY* (GO) DALAM ESTIMASI MATRIKS ASAL-TUJUAN (MAT) MENGUNAKAN DATA ARUS LALULINTAS**

**Rusmadi Suyuti**

Staf Pengajar Jurusan Teknik Sipil  
Universitas Muhammadiyah Jakarta  
Jln. Cempaka Putih Tengah 27, Jakarta Pusat-10510  
Telp: (022) 4288 2505, Fax: (022) 425 6023  
E-mail: rusmadisuyuti@yahoo.com

**Ofyar Z. Tamin**

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

## **Abstrak**

Matriks Asal Tujuan merupakan input yang sangat penting pada hampir semua aplikasi perencanaan transportasi. Salah satu metodologi yang dikembangkan untuk mendapatkan MAT tersebut adalah dengan menggunakan data arus lalulintas atau sering disebut dengan metode tidak konvensional. Penggunaan metode tidak konvensional mempunyai keunggulan komparatif dibandingkan dengan metode konvensional dalam hal kemudahan memperoleh data, murah, cepat dan tidak mengganggu arus lalulintas. Meskipun demikian terdapat beberapa faktor yang mempengaruhi akurasi MAT yang dihasilkan dari data arus lalulintas, diantaranya adalah pengaruh jenis model sebaran pergerakan (*trip distribution*) yang digunakan. Pada penelitian ini dikaji pengaruh penggunaan model *Gravity-Opportunity* (GO) terhadap tingkat keakurasian MAT yang dihasilkan dari informasi data arus lalulintas. Selanjutnya proses estimasi MAT dengan menggunakan data arus lalulintas tersebut akan dianalisis menggunakan data untuk wilayah Kota Bandung dan sekitarnya. Hasil penelitian menyimpulkan bahwa dengan penggunaan model GO diperoleh tingkat keakurasian yang cukup tinggi dalam proses estimasi MAT dengan menggunakan informasi data arus lalulintas. Hal tersebut ditunjukkan berdasarkan nilai optimum fungsi tujuan untuk masing-masing metode estimasi serta hasil pengujian statistika. Metode estimasi yang digunakan dalam penelitian ini adalah metode Kuadrat-Terkecil-Berbobot (KTB).

**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 tersebut menggunakan informasi data arus lalulintas di ruas jalan untuk memperkirakan MAT.

Meskipun demikian menurut Tamin (1988) terdapat beberapa faktor yang mempengaruhi akurasi MAT yang dihasilkan dari data arus lalulintas, 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 lalulintas
5. Tingkat resolusi sistem zona dan sistem jaringan

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

Penelitian ini bertujuan untuk meninjau tingkat keakurasian MAT yang dihasilkan dari informasi data arus lalu lintas yang dipengaruhi oleh faktor metode sebaran pergerakan *Gravity-Opportunity* (GO). Di samping model GO, faktor-faktor pengaruh lain yang ditinjau adalah Metode Estimasi Kuadrat-Terkecil-Berbobot (KTB) serta Teknik Pemilihan Rute Keseimbangan (*Equilibrium Assignment*) dan *All-Or-Nothing*.

## MODEL GRAVITY-OPPORTUNITY (GO)

Metode sintesis untuk model sebaran pergerakan pada dasarnya berusaha menggambarkan hubungan antara tata guna lahan dan transportasi dalam pemodelan. Beberapa contoh metode sintesis tersebut adalah model *Gravity* (GR), *Intervening-Opportunity* (IO) dan *Gravity-Opportunity* (GO).

Model GR, yang dikembangkan dari analogi hukum gravitasi, berasumsi bahwa ciri bangkitan dan tarikan pergerakan berkaitan dengan beberapa parameter zona asal, misalnya populasi dan nilai sel MAT, yang berkaitan juga dengan aksesibilitas (kemudahan) sebagai fungsi jarak, waktu, ataupun biaya. Gambaran tingkat kemudahan dalam mencapai zona tujuan dalam model ini dinyatakan dalam fungsi biaya perjalanan atau fungsi hambatan (*impedance function*). Sedangkan model IO mempunyai ide dasar bahwa setiap pergerakan pada dasarnya tidak selalu berkaitan dengan aksesibilitas antara asal dan tujuan, tetapi tergantung pada tingkat kepuasan atau kesempatan yang dapat diterima atau dihasilkan oleh tempat tujuan pergerakan tersebut.

Tamin (2000) menyatakan bahwa model *Intervening-Opportunity* mengasumsikan bahwa jumlah pergerakan dari suatu zona asal ke zona tujuan berbanding lurus dengan jumlah kesempatan pada zona tujuan, dan berbanding terbalik dengan jumlah kesempatan-antara.

Jadi model *Gravity* kurang memperhatikan efek *Intervening*, sedangkan model *Intervening-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 statistika dengan menggunakan batasan parameter yang mengontrol bentuk fungsi mekanisme penyebaran pergerakan.

Tamin (2000) mengusulkan formulasi model GO sebagai berikut:

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

dengan:

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

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

$$f_{id} = \sum_j [\delta_{jd}^{i-1} \cdot F_{ij}] \quad (4)$$

$$F_{ij} = \left( \sum_p^j U_{ip} \right)^{(\varepsilon, \mu)} - \left( \sum_p^{j-1} U_{ip} \right)^{(\varepsilon, \mu)} \quad (5)$$

$$U_{ip} = \exp\left[(1 - \varepsilon) \cdot \alpha \cdot D_p^{i(\Omega)} - \beta \cdot C_{ip}^{(\Phi)}\right] \quad (6)$$

$$D_j^i = \sum_d \left[ \delta_{jd}^i \cdot D_d \right] \quad (7)$$

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

### Spesifikasi Fungsi Kesempatan

Spesifikasi fungsi 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 1 berikut. Parameter yang menentukan spesifikasi adalah  $\Omega$  dan  $\Phi$ , dengan  $\Omega$  merupakan parameter bagi spesifikasi fungsi kesempatan dan  $\Phi$  merupakan parameter bagi fungsi hambatan. Nilai 0 bagi parameter tersebut menandakan spesifikasi fungsi tersebut adalah jenis pangkat, sedangkan nilainya 1 merupakan jenis eksponensial.

**Tabel 1** Spesifikasi Fungsi Kesempatan

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

Sumber: Wills (1986) 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 faktor proporsi dinyatakan sebagai kombinasi dari  $\varepsilon$  dan  $\mu$ . Dari kombinasi dua parameter tersebut secara garis besar dapat dikelompokkan 6 struktur fungsi, yaitu *Logarithmic-Opportunity* (LO), *Direct-Opportunity* (DO), *Gravity* (GR), *Inverse-Opportunity* (IO), *Exponential-Opportunity* (EO) dan *Blended-Opportunity* (BO).

Terlihat bahwa model GR dapat diperoleh dari satu kasus khusus pada model GO. Dari tiga elemen dasar, yaitu prosedur normalisasi, spesifikasi fungsi kesempatan dan faktor proporsi menghasilkan suatu model sebaran pergerakan yang dikenal dengan model GO. Model tersebut dirangkum pada Tabel 2 dan diperlihatkan pada suatu daerah segitiga yang ditunjukkan pada Gambar 1.

## METODOLOGI

Metodologi ini disusun agar setiap tahapan kegiatan dari proses penelitian ini dapat berjalan dengan baik, sehingga dapat mencapai tujuan penelitian yang telah ditetapkan. Secara umum, metodologi ini dapat dilihat dalam bagan alir pada Gambar 2.

**Tabel 2** Spesifikasi Faktor Proporsi

Bentuk	$\mu$	$\varepsilon$	Cummulative 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) dalam Tamin (2000)

Proses pertama yang dilakukan adalah membuat nilai estimasi parameter awal ( $\alpha$  dan  $\beta$ ) dan menghitung  $D_j$  dan  $C_{ij}$  untuk setiap zona tujuan  $j$  didasarkan pada urutan kesempatan (jarak) zona asal  $i$ . Berdasarkan nilai  $D_j$  dan  $C_{ij}$  tersebut, dicari kombinasi nilai ( $\varepsilon, \mu$ ) yang memberikan nilai yang paling optimum sesuai dengan fungsi tujuan metode estimasi yang digunakan.

Dengan menggunakan persamaan pada **Tabel 1**, spesifikasi fungsi kesempatan untuk setiap kombinasi nilai  $\Omega$  dan  $\Phi$  dihitung dengan mempertimbangkan faktor hambatan perjalanan dan kesempatan-antara. Pada tahap ini dihitung spesifikasi fungsi kesempatan beserta turunan pertama dan turunan keduanya ( $U_{ip}, \frac{\partial U_{ip}}{\partial \alpha}, \frac{\partial^2 U_{ip}}{\partial \alpha^2}, \frac{\partial U_{ip}}{\partial \beta}, \frac{\partial^2 U_{ip}}{\partial \beta^2}, \frac{\partial^2 U_{ip}}{\partial \alpha \partial \beta}$ ).

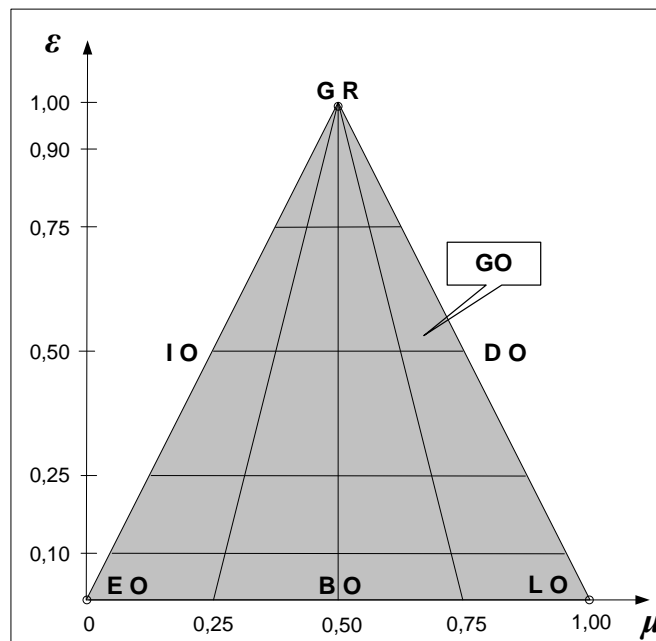
Kombinasi nilai  $\Omega$  dan  $\Phi$  yang dihitung adalah:  $\Omega=1$  dan  $\Phi=1$ ,  $\Omega=1$  dan  $\Phi=0$ ,  $\Omega=0$  dan  $\Phi=1$  serta  $\Omega=0$  dan  $\Phi=0$ .

Faktor proporsi ( $F_{ij}$ ) selanjutnya dihitung untuk setiap kombinasi nilai  $\Omega$  dan  $\Phi$ . Masukan yang digunakan dalam proses ini adalah nilai awal parameter  $\alpha$  dan  $\beta$  serta kombinasi terbaik parameter  $\varepsilon$  dan  $\mu$ . Kombinasi terbaik parameter  $\varepsilon$  dan  $\mu$  telah dihitung sebelumnya, dengan kombinasi yang terbaik adalah yang memberikan nilai optimum fungsi tujuan metode estimasi yang digunakan. Proses dilakukan dengan memberi nilai interval sebesar 0,1 pada kombinasi parameter  $\varepsilon$  dan  $\mu$  untuk nilai antara 0 dan 1. Sehingga terdapat total 121 kombinasi yang dimulai dari  $\varepsilon=0$  dan  $\mu=0$  sampai dengan  $\varepsilon=1$  dan  $\mu=1$ . Hasil yang diperoleh pada tahap ini adalah faktor proporsi beserta turunan pertama dan turunan keduanya

$$(F_{ij}, \frac{\partial F_{ij}}{\partial \alpha}, \frac{\partial^2 F_{ij}}{\partial \alpha^2}, \frac{\partial F_{ij}}{\partial \beta}, \frac{\partial^2 F_{ij}}{\partial \beta^2}, \frac{\partial^2 F_{ij}}{\partial \alpha \partial \beta})$$

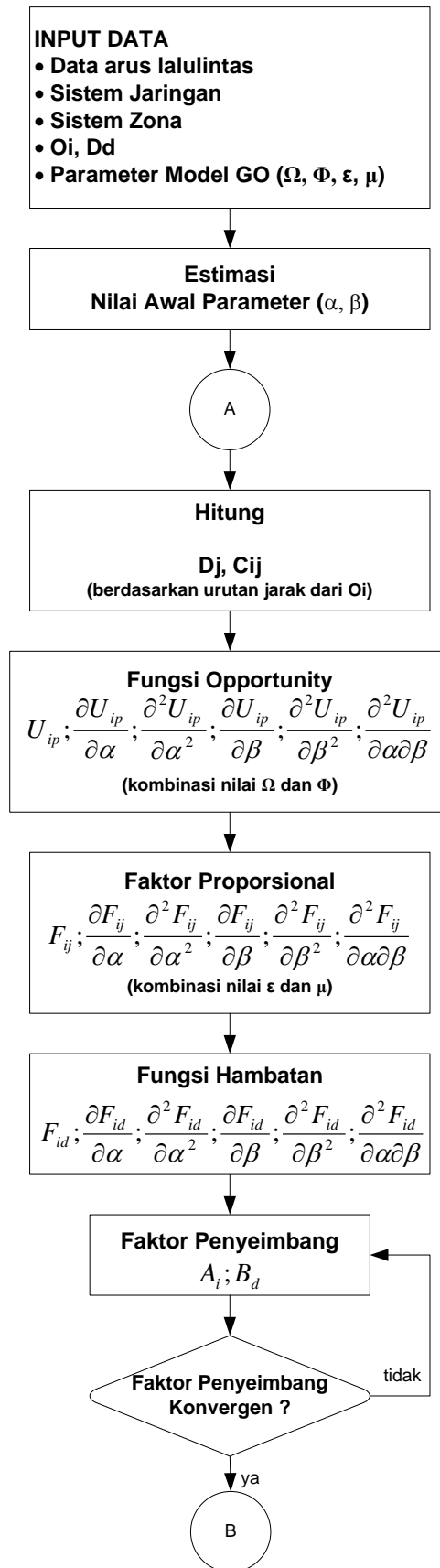
Nilai fungsi hambatan ( $f_{id}$ ) beserta turunan pertama dan keduanya terhadap parameter  $\alpha$  dan  $\beta$ , selanjutnya dapat dihitung dengan menggunakan persamaan (4). Setelah diperoleh fungsi hambatan, proses selanjutnya sama dengan yang dilakukan untuk model GR, yaitu menghitung faktor penyeimbang beserta turunan pertama dan turunan keduanya. Proses tersebut memerlukan beberapa iterasi sampai dicapai suatu nilai konvergensi tertentu.

MAT hasil estimasi selanjutnya dapat dihitung dari nilai faktor penyeimbang, bangkitan dan tarikan perjalanan, serta jenis fungsi hambatan yang digunakan.

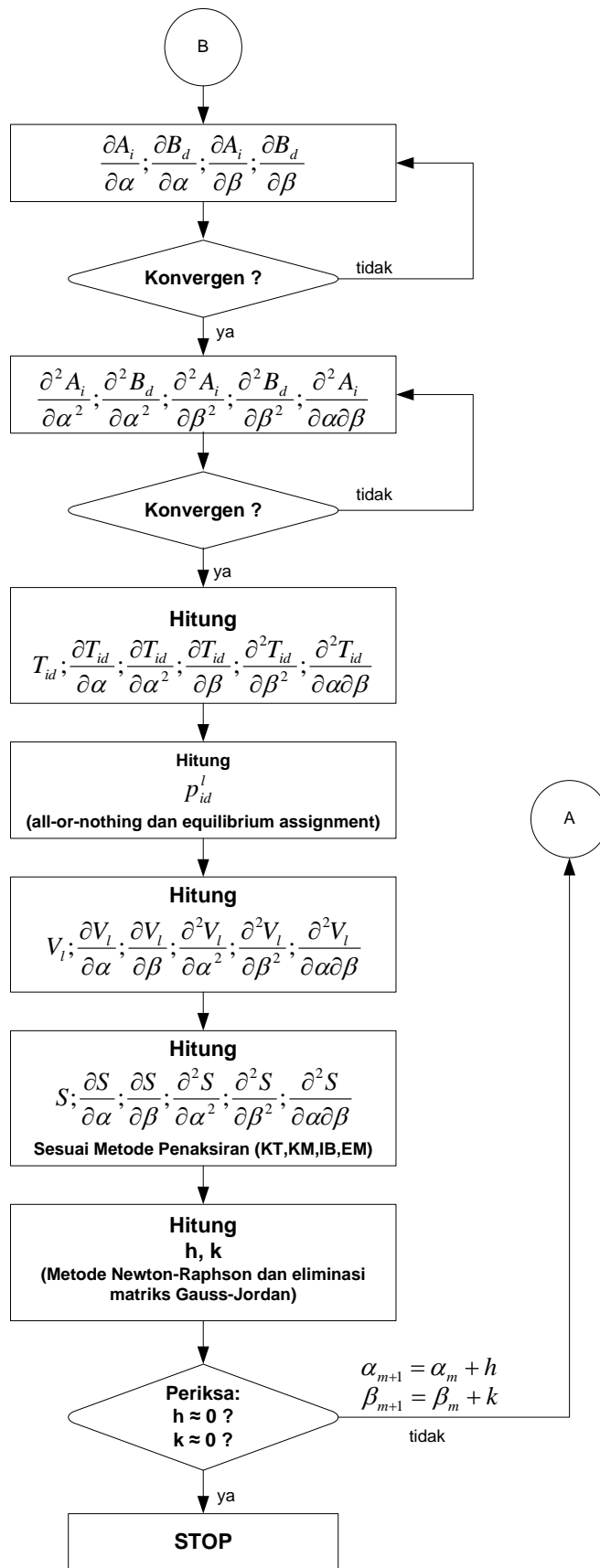


Sumber: Wills (1986) seperti ditulis dalam Tamin (2000)

**Gambar 1** Diagram Struktural Model GO



**Gambar 2** Proses Kalibrasi Menggunakan Model *Gravity-Opportunity* (GO)



**Gambar 2** Proses Kalibrasi Menggunakan Model GO (lanjutan)

Setelah MAT hasil estimasi diperoleh, langkah selanjutnya adalah membebaskan MAT tersebut ke sistem jaringan jalan, untuk memperoleh arus lalu lintas hasil estimasi. Proses penetapan nilai  $p_{id}^l$  dilakukan dengan cara membebaskan MAT ke dalam sistem jaringan jalan untuk setiap ruas jalan  $l$ . Nilai  $p_{id}^l$  yang dihasilkan bergantung pada jenis model pemilihan rute yang digunakan, yaitu:

1. Metode *all-or-nothing*: nilai  $p_{id}^l$  adalah 0 atau 1
2. Metode *equilibrium assignment*: nilai  $p_{id}^l$  antara 0 dan 1 ( $0 \leq p_{id}^l \leq 1$ )

Penggunaan nilai  $p_{id}^l$  dalam proses estimasi MAT dapat dibedakan sesuai dengan jenis pemilihan rute yang digunakan. Jika digunakan metode *all-or-nothing assignment*, maka nilai  $p_{id}^l$  bisa dihitung secara terpisah dari proses estimasi MAT. Nilai  $p_{id}^l$  yang digunakan adalah tetap dan tidak berubah. Sedangkan jika digunakan metode *equilibrium assignment*, maka nilai  $p_{id}^l$  tersebut dihitung pada saat proses pemilihan rute. Nilai  $p_{id}^l$  tersebut, selain digunakan untuk menghitung arus lalu lintas, juga digunakan dalam proses estimasi parameter model kebutuhan transportasi.

Proses pemilihan rute digunakan untuk menghasilkan arus lalu lintas hasil estimasi. Dalam penelitian ini, jenis pemilihan rute yang digunakan adalah pemilihan rute *all-or-nothing* dan pemilihan rute keseimbangan. Jika digunakan pemilihan rute *all-or-nothing*, maka nilai  $p_{id}^l$  yang dihasilkan adalah tetap dan tidak bergantung pada MAT hasil estimasi, sedangkan jika digunakan pemilihan rute keseimbangan, maka nilai  $p_{id}^l$  yang dihasilkan selalu berubah bergantung pada MAT hasil estimasi. Nilai  $p_{id}^l$  tersebut selain untuk menentukan arus lalu lintas, juga digunakan dalam proses estimasi parameter model sebaran pergerakan.

Setelah arus lalu lintas hasil estimasi diperoleh, proses selanjutnya adalah melakukan estimasi parameter model kebutuhan transportasi. Input yang digunakan dalam proses ini, selain arus lalu lintas adalah MAT hasil estimasi dan nilai  $p_{id}^l$ . Proses estimasi dilakukan dengan menentukan nilai parameter  $h$  dan  $k$  untuk mengoreksi parameter  $\alpha$  dan  $\beta$  sehingga diperoleh fungsi tujuan yang optimum. Metode estimasi yang digunakan untuk keperluan ini adalah metode Kuadrat-Terkecil-Berbobot (KTB).

Hasil yang diperoleh dari proses estimasi parameter model sebaran pergerakan adalah nilai  $h$  dan  $k$  yang dihitung dengan metode Newton-Raphson dan eliminasi matriks Gauss-Jordan. Proses iterasi diperlukan dengan cara mengulang-ulang, sampai diperoleh nilai  $h$  dan  $k$  yang mendekati 0. Jika nilai  $h$  dan  $k$  telah sangat kecil atau mendekati 0, maka proses estimasi parameter model dinyatakan telah selesai.

Proses uji statistika dilakukan untuk membandingkan data arus lalu lintas dan MAT hasil estimasi dengan data arus lalu lintas dan MAT hasil pengamatan. Proses ini dilakukan setelah proses estimasi mencapai nilai konvergensi sesuai yang diinginkan. Pengujian statistik dilakukan dengan metode *Root Mean Square Error (RMSE)*, *Mean Absolute Error (MAE)*, *Normalised Mean Absolute Error (NMAE)*, dan Koefisien Determinasi ( $R^2$  dan  $SR^2$ ).

## HASIL ANALISIS DATA

Untuk mencari validasi setiap metode estimasi digunakan data arus lalu lintas Kota Bandung. Model jaringan jalan dibentuk sebagai wakil suplai jaringan jalan 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 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.

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  $\epsilon$  dan  $\mu$  dengan  $\epsilon=0,9$  dan  $\mu=0,1$ . Sedangkan nilai  $\alpha$  dan  $\beta$  yang diperoleh relatif berdekatan. Pada akhirnya, pengujian statistika arus estimasi untuk masing-masing metodepun menghasilkan nilai yang relatif berdekatan.

Nilai  $\epsilon$  dalam model GO menggambarkan seberapa besar efek kesempatan diperhitungkan dalam model tersebut. Nilai  $\epsilon=1$  akan menghasilkan model GR dan mengabaikan efek kesempatan. Semakin mendekati nilai 1, maka semakin kecil bobot yang diberikan untuk efek kesempatan, dan sebaliknya. Untuk kasus Kota Bandung, nilai  $\epsilon=0,9$  menunjukkan bahwa efek kesempatan cukup kecil pengaruhnya dalam sebaran pergerakan yang terjadi.

Hasil estimasi parameter model kebutuhan transportasi yang dihasilkan dengan Model GO untuk berbagai jenis kombinasi fungsi kesempatan (nilai  $\Omega$  dan  $\Phi$ ) ditunjukkan pada Tabel 3. Pada Tabel 3 dapat dilihat bahwa keempat kombinasi spesifikasi fungsi kesempatan menunjukkan tingkat kinerja relatif hampir sama antara satu dengan lainnya.

**Tabel 3** 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

Hasil uji statistika untuk tiap-tiap jenis fungsi kesempatan ditunjukkan pada Tabel 4. Pada Tabel 4, dapat dilihat bahwa ditinjau dari indikator uji statistika, maka model GO dengan fungsi kesempatan  $\Omega=0, \Phi=0$  memberikan tingkat kinerja yang terbaik.

**Tabel 4** Indikator Uji Statistika dengan Menggunakan Model GO untuk Tingkat MAT

No.	Indikator Uji Statistik	$\Omega=1, \Phi=1$	$\Omega=1, \Phi=0$	$\Omega=0, \Phi=1$	$\Omega=0, \Phi=0$
1	RMSE	4,388134	4,006194	4,412419	3,983036
2	%RMSE (%)	73,754142	67,334632	74,162333	66,945419
3	MAE	2,151536	2,004814	2,156736	2,004599
4	NMAE (%)	36,162231	33,696186	36,249626	33,692562
5	$R^2$	0,746924	0,789062	0,744115	0,791494
6	$SR^2$	0,749331	0,777261	0,746932	0,778037

Untuk melihat kinerja penggunaan model GO, dilakukan perbandingan proses estimasi MAT dengan model sebaran pergerakan Gravity (GR). Hasil perbandingan pengaruh antara model GR dan GO untuk metode estimasi KTB dan model pemilihan rute keseimbangan ditunjukkan pada Tabel 5. Sedangkan Tabel 6 menunjukkan indikator uji statistika antara model GO dan model GR untuk metode estimasi KTB dan Pemilihan Rute

Keseimbangan. Pada Tabel 6 dapat dilihat bahwa ditinjau dari indikator uji statistika, maka untuk metode estimasi KTB, model GO mempunyai kinerja yang lebih baik dibandingkan model GR.

**Tabel 5** Hasil Estimasi Parameter Model Transportasi Menurut Jenis Model Sebaran Pergerakan

No.	Model	Kuadrat-Terkecil-Berbobot		
		$\alpha$	$\beta$	Fungsi Tujuan
1	<i>Gravity</i>	-	0,068619	62175,1445
2	<i>Gravity-Opportunity</i>	0,910340	0,908528	51455,0078

**Tabel 6** Indikator Uji Statistika Menurut Jenis Model Sebaran Pergerakan

No.	Indikator Uji Statistika	Kuadrat-Terkecil-Berbobot	
		GR	GO
1	RMSE	4,276519	3,983036
2	%RMSE (%)	71,878158	66,945419
3	MAE	2,107042	2,004599
4	NMAE (%)	35,414382	33,692562
5	$R^2$	0,759635	0,791494
6	$SR^2$	0,759238	0,778037

Asumsi dasar yang digunakan pada pengembangan model estimasi MAT dengan menggunakan data arus lalu lintas adalah bahwa pergerakan arus lalu lintas dari suatu zona ke zona lainnya pada dasarnya dapat direpresentasikan pada besarnya arus lalu lintas pada suatu ruas jalan yang sangat bergantung pada besarnya proporsi pergerakan yang terjadi antara kedua zona tersebut yang menggunakan ruas tersebut sebagai bagian dari rute terbaiknya. Besarnya proporsi pergerakan tersebut sangat bergantung pada jenis model pemilihan rute yang digunakan. Untuk penelitian ini, jenis pemilihan rute yang ditinjau adalah pemilihan rute *all-or-nothing* dan pemilihan rute keseimbangan.

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 ditunjukkan pada Tabel 7. Pada 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*.

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

No.	Metode Pemilihan Rute	GO		
		$\alpha$	$B$	Fungsi Tujuan
1	Keseimbangan	0,910340	0,90853	51455,01
2	<i>All-Or-Nothing</i>	-0,004820	0,12795	130294,19

Sedangkan Tabel 8 menunjukkan hasil uji statistika pada kondisi pemilihan rute keseimbangan dan *all-or-nothing*. Pada Tabel 8 tersebut dapat dilihat bahwa jika dilakukan perbandingan antara penggunaan pemilihan rute maka dari hasil uji statistika, pemilihan rute keseimbangan menghasilkan kinerja yang lebih baik dalam melakukan estimasi parameter model kebutuhan transportasi. Hal tersebut bisa dilihat dari nilai koefisien

determinasi ( $R^2$ ). Nilai  $R^2$  yang dihasilkan dari pemilihan rute keseimbangan adalah sebesar 0,79 sedangkan jika digunakan metode *all-or-nothing*, nilai  $R^2$  yang dihasilkan adalah sebesar 0,56, sehingga dapat disimpulkan bahwa penggunaan metode pemilihan rute keseimbangan mempunyai pengaruh yang signifikan terhadap keakuratan estimasi parameter model kebutuhan transportasi..

**Tabel 8** Indikator Uji Statistika untuk Masing-Masing Metode Pemilihan Rute

No.	Indikator Uji Statistika	GO	
		Pemilihan Rute Keseimbangan	Pemilihan Rute <i>All-Or-Nothing</i>
1	RMSE	3,983036	5,807092
2	%RMSE (%)	66,945419	97,603416
3	MAE	2,004599	2,364291
4	NMAE (%)	33,692562	39,738117
5	$R^2$	0,791494	0,556792
6	SR <sup>2</sup>	0,778037	0,671010
Waktu Proses Komputer		2 Jam 16 Menit	1 Jam 56 Menit

Selanjutnya, pada Tabel 8 juga dapat dilihat bahwa penggunaan model GO membutuhkan waktu proses yang cukup lama. Hal tersebut karena diperlukannya proses untuk membuat semua tujuan diurutkan menurut jarak atau fungsi biaya dari zona asal tertentu di dalam proses kalibrasi. Di samping itu model GO mempunyai perhitungan algoritma yang lebih kompleks sehingga membutuhkan waktu yang lebih lama untuk diselesaikan dibandingkan dengan model GR.

Faktor yang sangat berpengaruh terhadap waktu proses komputer adalah jumlah ruas jalan. Meningkatnya proses komputer dikarenakan untuk mencari  $p_{id}^l$  pada ruas  $l$  diperlukan proses pemilihan rute (*trip assignment*), sehingga semakin banyak ruas, maka semakin banyak proses pemilihan rute yang menyebabkan waktu proses komputernya semakin lama.

## KESIMPULAN

Penelitian ini bertujuan untuk meninjau tingkat keakuratan MAT yang dihasilkan dari informasi data arus lalu lintas yang dipengaruhi oleh faktor-faktor Metode Sebaran Pergerakan Gravity-Opportunity (GO), Metode Estimasi Kuadrat-Terkecil-Berbobot (KTB), serta Teknik Pemilihan Rute Keseimbangan (*Equilibrium Assignment*) dan *All-Or-Nothing*.

Hasil estimasi menunjukkan bahwa penggunaan model GO menghasilkan kinerja yang lebih baik dalam melakukan penaksiran parameter model kebutuhan transportasi, dibandingkan penggunaan model GR. Hal tersebut bisa dilihat dari nilai koefisien determinasi ( $R^2$ ). Pada model GO nilai  $R^2$  yang dihasilkan adalah sekitar 0.79, sedangkan jika digunakan model GR, nilai  $R^2$  yang dihasilkan adalah sekitar 0.75.

## 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.
- Tamin, O.Z. 2000a. *Perencanaan dan Pemodelan Transportasi*, Edisi 2. Bandung: Penerbit ITB.
- Tamin, O.Z. et al. 2000b. *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.