

PENGGUNAAN MODEL *GRAVITY* (GR) DALAM ESTIMASI MATRIKS ASAL-TUJUAN (MAT) MENGGUNAKAN DATA ARUS LALULINTAS

Rusmadi Suyuti

Staf Pengajar

Jurusan Teknik Sipil

Universitas Muhammadiyah Jakarta

Jln. Cempaka Putih Tengah 27, Jakarta Pusat 10510

Telp: (022) 42882505, Fax: (022) 4256023

rusmadisuyuti@yahoo.com

Ofyar Z. Tamin

Guru Besar dan Peneliti

Departemen Teknik Sipil

Institut Teknologi Bandung

Jln. Ganesha 10, Bandung 40132

Telp: (022) 2502350, Fax: (022) 2512395

ofyar@trans.si.itb.ac.id

Abstract

Many problems in transport planning and management tasks require an origin-destination (O-D) matrix to represent the travel pattern. However, O-D matrices obtained through a large scale survey such as home or road side interviews, tend to be costly, labour intensive and time disruptive to trip makers. Therefore, the alternative of using traffic counts to estimate O-D matrices is particularly attractive. Models of transport demand have been used for many years to synthesize O-D matrices in study areas. A typical example of this is the gravity model (GR); its functional form, plus the appropriate values for the parameters involved, is employed to produce acceptable matrices representing trip making behaviour for many trip purposes and time periods. Four estimation methods have been analysed and tested to calibrate the transport demand models from traffic counts, namely: Non-Linear-Least-Squares (NLLS), Maximum-Likelihood (ML), Maximum-Entropy (ME) and Bayes-Inference (BI). The Bandung's Urban Traffic Movement survey has been used to test the developed method. Based on several statistical tests, the estimation methods are found to perform satisfactorily since each calibrated model reproduced the observed matrix fairly closely. The tests were carried out using two assignment techniques, all-or-nothing and equilibrium assignment.

keywords : *transportation model, O-D matrices, estimation method, trip distribution, trip assignment*

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* (GR). Di samping model GR, faktor-faktor pengaruh lain yang ditinjau adalah Metode Estimasi Kuadrat-Terkecil (KT), Kuadrat-Terkecil-Berbobot (KTB), Kemiripan-Maksimum (KM), Inferensi-Bayes (IB), dan Entropi-Maksimum (EM), serta teknik Pemilihan Rute Keseimbangan (*Equilibrium Assignment*) dan *All-Or-Nothing*

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).

Persamaan model *Gravity* adalah sebagai berikut:

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

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

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

dengan:

- 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 :

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

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

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

Terdapat 4 (empat) jenis model GR, yaitu tanpa-batasan (UCGR), dengan-batasan-bangkitan (PCGR), dengan-batasan-tarikan (ACGR), dan dengan-batasan-bangkitan-tarikan (PACGR). Model PCGR dan ACGR sering disebut model dengan-satu-batasan (SCGR), sedangkan model PACGR disebut model dengan-dua-batasan (DCGR).

Persamaan 1 sampai dengan persamaan 3 dikenal sebagai model DCGR, dan versi lain yang dikenal dengan Model SCGR juga dapat dihasilkan. Dengan menetapkan nilai $B_d=1$ untuk semua d untuk menghilangkan batasan bangkitan pergerakan (O_i), maka model PCGR bisa dihasilkan.

Selanjutnya, dengan menetapkan nilai $A_i=1$ untuk semua i untuk menghilangkan batasan tarikan pergerakan (D_d), maka bentuk model lain akan dihasilkan yang biasa disebut dengan model ACGR. Terakhir, dengan mengabaikan batasan bangkitan dan tarikan, dihasilkan model UCGR

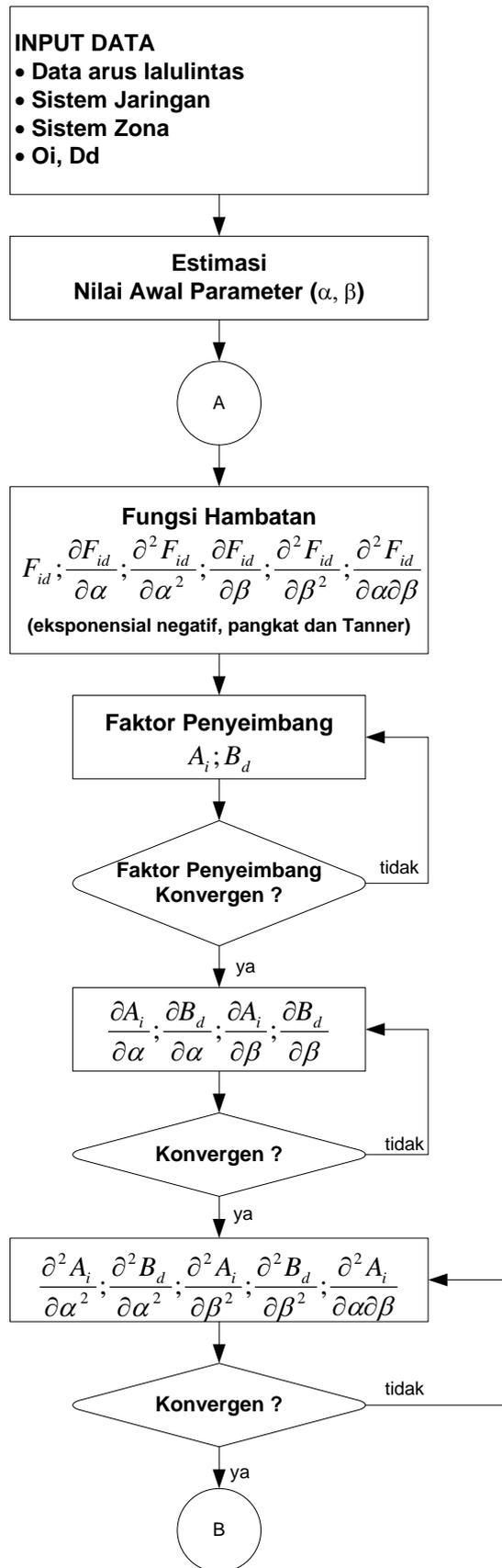
METODOLOGI

Metodologi ini disusun agar setiap tahapan 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.

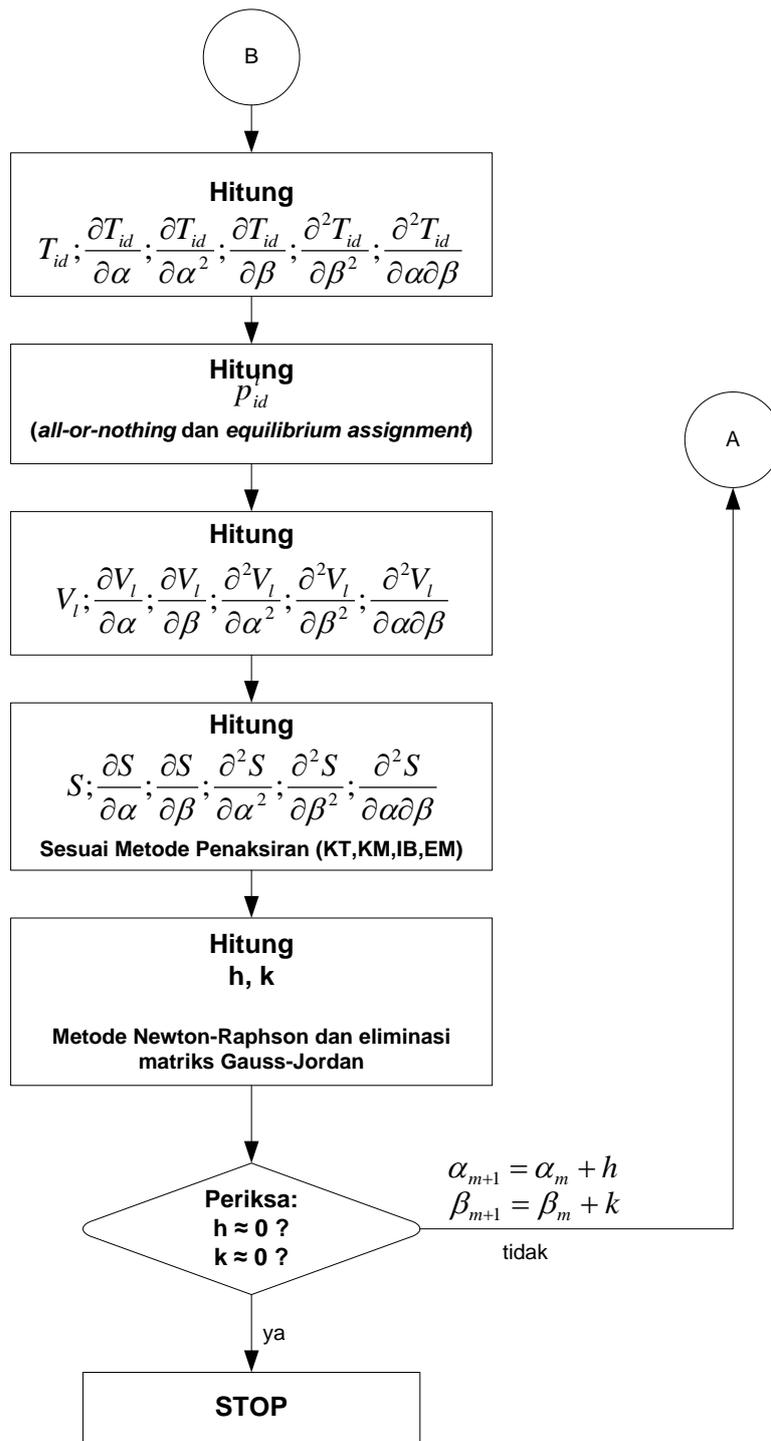
Proses pengembangan estimasi model kebutuhan transportasi secara umum dilakukan melalui tahapan-tahapan sebagai berikut:

1. Penetapan nilai awal parameter model kebutuhan transportasi; pada tahap ini ditentukan nilai awal parameter model kebutuhan transportasi. Parameter awal yang digunakan untuk model *Gravity* (GR) adalah parameter β untuk fungsi hambatan eksponensial-negatif dan fungsi hambatan pangkat, serta α dan β untuk fungsi hambatan Tanner.
2. Estimasi MAT berdasarkan nilai awal parameter; berdasarkan nilai awal parameter tersebut, selanjutnya dilakukan proses estimasi MAT. Untuk model GR, proses tersebut dimulai dengan perhitungan fungsi hambatan (eksponensial-negatif, pangkat atau Tanner) beserta turunan pertama dan turunan keduanya. Setelah fungsi hambatan diperoleh, dilakukan perhitungan untuk menentukan faktor penyeimbang beserta turunan pertama dan turunan keduanya. Proses tersebut memerlukan beberapa iterasi sampai dicapai suatu nilai konvergensi tertentu. Proses tersebut juga berbeda menurut jenis batasan pada model *Gravity* yang digunakan (tanpa-batasan, batasan-bangkitan, batasan-tarikan dan batasan-bangkitan-tarikan). MAT hasil estimasi selanjutnya dapat dihitung dari nilai faktor penyeimbang, bangkitan dan tarikan perjalanan serta jenis fungsi hambatan yang digunakan.
3. Penetapan nilai p_{id}^l untuk setiap ruas jalan; setelah MAT hasil estimasi diperoleh, langkah selanjutnya adalah membebankan MAT tersebut ke sistem jaringan jalan, untuk memperoleh arus lalu lintas hasil estimasi. Proses penetapan nilai p_{id}^l dilakukan dengan cara membebankan MAT ke dalam sistem jaringan jalan untuk setiap ruas jalan l . Nilai p_{id}^l yang dihasilkan tergantung dari jenis model pemilihan rute yang digunakan, yaitu:
 - a. Metode *all-or-nothing*; nilai p_{id}^l adalah 0 atau 1
 - b. 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, dan nilai p_{id}^l yang digunakan adalah tetap dan tidak berubah. Sedangkan jika digunakan metode *equilibrium assignment*, 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.



Gambar 1 Proses Kalibrasi dengan Menggunakan Model *Gravity*



Gambar 1 Proses Kalibrasi dengan Menggunakan Model Gravity (lanjutan)

- Proses pemilihan rute untuk menghasilkan arus lalu lintas hasil estimasi; seperti dijelaskan pada langkah 3, 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} yang dihasilkan adalah tetap dan tidak tergantung pada MAT hasil estimasi, sedangkan jika digunakan pemilihan rute

keseimbangan, maka nilai p_{id}^l yang dihasilkan selalu berubah tergantung pada MAT hasil estimasi. Nilai p_{id}^l tersebut selain untuk menentukan arus lalulintas, juga digunakan dalam proses estimasi parameter model sebaran pergerakan.

5. Proses estimasi parameter model sebaran pergerakan. Setelah volume arus lalulintas hasil estimasi diperoleh, proses selanjutnya adalah melakukan estimasi parameter model kebutuhan transportasi. Input yang digunakan dalam proses ini, selain arus lalulintas, adalah MAT hasil estimasi dan nilai p_{id}^l . Proses estimasi dilakukan dengan menentukan nilai parameter h dan k untuk mengoreksi parameter α dan β sehingga diperoleh fungsi tujuan yang optimum. Metode estimasi yang digunakan untuk keperluan ini adalah Kuadrat-Terkecil-Tidak-Linier (KT), Kuadrat-Terkecil-Tidak-Linier-Berbobot (KTB), Kemiripan-Maksimum (KM), Inferensi-Bayes (IB), dan Entropi-Maksimum (EM).
6. Cek nilai konvergensi; 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 langkah (1) sampai dengan langkah (5), 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.
7. Nilai uji statistika terhadap data arus lalulintas; Proses uji statistika dilakukan untuk membandingkan data arus lalulintas dan MAT hasil estimasi dengan data arus lalulintas dan MAT hasil pengamatan. Proses ini dilakukan setelah proses estimasi mencapai nilai konvergensi sesuai yang diinginkan. Pengujian statistika 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).

ANALISIS DATA

Untuk mencari validasi setiap metode estimasi digunakan data arus lalulintas Kota Bandung. Model jaringan jalan yang dibentuk sebagai wakil suplai jaringan jalan terdiri dari 1.238 ruas (total 2279 ruas jalan per arah), yang meliputi semua jalan arteri, jalan 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.

Pengaruh Jenis Batasan

Hasil estimasi parameter model kebutuhan transportasi yang dihasilkan untuk berbagai jenis model GR ditunjukkan pada Tabel 1. Proses tersebut dilakukan dengan metode estimasi Kuadrat-Terkecil-Berbobot (KTB), fungsi hambatan eksponensial-negatif, dan metode pemilihan rute keseimbangan (*equilibrium assignment*).

Pada Tabel 1 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 fungsi tujuan metode estimasi KTB, dengan jenis batasan-bangkitan-tarikan

nilainya paling kecil. Setelah model batasan-bangkitan-tarikan, urutan selanjutnya adalah model batasan-bangkitan. Model ini kinerjanya lebih baik dibandingkan model batasan-tarikan.

Tabel 1 Hasil Estimasi Parameter Model Transportasi Menurut Jenis Model GR

No	Model Gravity	Fungsi Eksponensial-Negatif	
		β	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 hasil estimasi, penggunaan nilai awal yang berbeda pada proses iterasi akan selalu menghasilkan nilai estimasi yang relatif sama. Walaupun terjadi perbedaan, perbedaan tersebut nilainya sangat kecil sehingga dapat diabaikan. Dari sini dapat disimpulkan bahwa metode estimasi tersebut selalu menghasilkan satu solusi tunggal yang sama nilainya (*a unique solution*). Perbedaan yang terjadi hanya pada cepat atau lambatnya konvergensi tercapai. Secara umum dapat dikatakan bahwa semakin jauh nilai awal dari nilai yang dituju, semakin lama waktu yang dibutuhkan untuk mencapai konvergensi.

Hasil uji statistika untuk tiap-tiap jenis model GR ditunjukkan pada Tabel 2. Pada Tabel 2 tersebut dapat dilihat bahwa ditinjau dari indikator uji statistika, model GR dengan batasan-bangkitan-tarikan (DCGR) memberikan tingkat kinerja yang terbaik.

Tabel 2 Indikator Uji Statistika untuk Masing-Masing Model GR dengan Menggunakan Metode Estimasi Kuadrat-Terkecil untuk Tingkat MAT

No	Indikator Uji Statistika	Fungsi Eksponensial-Negatif		
		Batasan-Bangkitan	Batasan-Tarikan	Batasan-Bangkitan-Tarikan
1	RMSE	4,593072	5,744880	4,332783
2	%RMSE (%)	77,198669	96,557853	72,823829
3	MAE	2,360288	2,901026	2,132322
4	NMAE (%)	39,670856	48,759395	35,839282
5	R^2	0,722734	0,566237	0,753269
6	SR^2	0,650865	0,491824	0,759040

Pengaruh Fungsi Hambatan (Eksponensial Negatif, Pangkat, Tanner)

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

Pada Tabel 3 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 fungsi tujuan metode estimasi KTB. Setelah fungsi Tanner, urutan terbaik selanjutnya adalah fungsi pangkat. Fungsi ini kinerjanya lebih baik dibandingkan dengan fungsi eksponensial-negatif.

Tabel 3 Hasil Estimasi Parameter Model Transportasi Menurut Jenis Fungsi Hambatan

No	Fungsi Hambatan	Batasan-Bangkitan-Tarikan		
		α	β	Fungsi Tujuan
1	Eksponensial-Negatif	-	0,060252	58142,5976
2	Pangkat	-	0,728481	50267,9843
3	Tanner	0,959449	-0,021262	44839,0234

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. Hasil uji statistika untuk tiap jenis fungsi hambatan ditunjukkan pada Tabel 4.

Tabel 4 Indikator Uji Statistik untuk Masing-masing Fungsi Hambatan untuk Tingkat MAT

No	Indikator Uji Statistik	Model Batasan-Bangkitan-Tarikan		
		Fungsi Eksponensial-Negatif	Fungsi Pangkat	Fungsi Tanner
1	RMSE	4,332783	4,053458	4,013545
2	%RMSE (%)	72,823829	68,129035	67,458198
3	MAE	2,132322	2,031995	2,023216
4	NMAE (%)	35,839282	34,153026	34,005466
5	R ²	0,753269	0,784056	0,788287
6	SR ²	0,759040	0,776553	0,779582

Pada Tabel 4 dapat dilihat bahwa ditinjau dari indikator uji statistika, model GR dengan fungsi Tanner yang dikombinasikan dengan model batasan-bangkitan-tarikan memberikan tingkat kinerja yang terbaik.

Pengaruh Jenis Metode Estimasi

Hasil estimasi parameter model kebutuhan transportasi yang dihasilkan untuk berbagai jenis metode estimasi ditunjukkan pada Tabel 5. Proses tersebut dilakukan dengan model GR dengan batasan-bangkitan-tarikan, fungsi hambatan eksponensial-negatif dan metode pemilihan rute keseimbangan (*equilibrium assignment*).

Pada Tabel 5 dapat dilihat bahwa masing-masing metode estimasi menghasilkan parameter β yang nilainya hampir sama antara satu metode dengan metode yang lainnya. Untuk menentukan tingkat kinerja tidak bisa digunakan parameter nilai fungsi tujuan, karena metode mencari fungsi tujuan berbeda antara satu metode dengan metode lainnya, sehingga penentuan tingkat kinerja didasarkan pada perbandingan nilai uji statistika untuk masing-masing metode estimasi, baik untuk tingkat arus maupun tingkat MAT.

Tabel 5 Hasil Estimasi Parameter Model Transportasi Menurut Jenis Metode Estimasi

No	Metode Estimasi	GR	
		β	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

Hasil uji statistik untuk tiap jenis metode estimasi adalah seperti ditunjukkan pada Tabel 6. Pada Tabel 6 terlihat bahwa ditinjau dari indikator uji statistika, metode estimasi yang mempunyai kinerja yang terbaik adalah metode estimasi KTB. Meskipun demikian, perbedaan antara satu metode estimasi dengan metode estimasi lainnya sangat kecil. Hal itu terbukti ketika digunakan fungsi hambatan eksponensial-negatif, metode estimasi apapun yang digunakan, selalu menghasilkan koefisien determinasi (R^2) yang relatif sama, yaitu sekitar 0,75, sehingga dapat disimpulkan bahwa semua metode menghasilkan tingkat akurasi yang relatif sama.

Tabel 6 Indikator Uji Statistik untuk Masing-masing Metode Estimasi dengan Menggunakan Model GR Batasan-Bangkitan-Tarikan untuk Tingkat MAT

No	Indikator Uji Statistik	GR				
		Kuadrat-Terkecil (KT)	Kuadrat-Terkecil-Berbobot (KTB)	Kemiripan-Maksimum (KM)	Inferensi-Bayes (IB)	Entropi-Maksimum (EM)
1	RMSE	4,332783	4,276519	4,278709	4,336364	4,305590
2	%RMSE (%)	72,823829	71,878158	71,914962	72,884017	72,366775
3	MAE	2,132322	2,107042	2,108776	2,133564	2,122188
4	NMAE (%)	35,839282	35,414382	35,443523	35,860168	35,668964
5	R^2	0,753269	0,759635	0,759389	0,752861	0,756356
6	SR^2	0,759040	0,759238	0,759388	0,758955	0,759541

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 ditunjukkan pada Tabel 7. Proses tersebut dilakukan dengan model GR dengan batasan-bangkitan-tarikan, fungsi hambatan eksponensial-negatif serta metode estimasi KTB. Pada Tabel 7 dapat dilihat bahwa jika dibandingkan dari nilai fungsi tujuan, penggunaan metode pemilihan rute keseimbangan jauh lebih baik daripada penggunaan metode pemilihan rute *all-or-nothing*.

Tabel 7 Hasil Estimasi Parameter Model Transportasi Menurut Jenis Pemilihan Rute

No	Metode Pemilihan Rute	GR	
		β	Fungsi Tujuan
1	Keseimbangan	0,068619	62175,14
2	All-Or-Nothing	0,127845	144568,33

Penentuan tingkat keakuratan metode pemilihan rute keseimbangan dan *all-or-nothing* didasarkan pada perbandingan nilai uji statistika untuk masing-masing metode pemilihan rute tersebut. Hasil uji statistika pada kondisi pemilihan rute keseimbangan dan *all-or-nothing* ditunjukkan pada Tabel 8. Pada tabel tersebut dapat dilihat pula waktu proses komputer rata-rata yang diperlukan untuk proses kalibrasi.

Tabel 8 Indikator Uji Statistika untuk Masing-masing Metode Pemilihan Rute dengan Menggunakan Model GR untuk Tingkat MAT

No	Indikator Uji Statistika	GR	
		Pemilihan Rute Keseimbangan	Pemilihan Rute <i>All-Or-Nothing</i>
1	RMSE	4,276519	6,049265
2	%RMSE (%)	71,878158	101,673820
3	MAE	2,107042	2,430328
4	NMAE (%)	35,414382	40,848056
5	R ²	0,759635	0,519054
6	SR ²	0,759238	0,653679
Waktu Proses Komputer		1 Jam 54 Menit	1 Jam 34 Menit

Pada Tabel 8 dapat dilihat bahwa jika dilakukan perbandingan antara penggunaan pemilihan rute keseimbangan dan pemilihan rute *all-or-nothing*, 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 (R²). Nilai R² yang dihasilkan dari pemilihan rute keseimbangan adalah sebesar 0,75 sedangkan jika digunakan metode *all-or-nothing*, nilai R² yang dihasilkan adalah sebesar 0,51, sehingga dapat diambil kesimpulan bahwa penggunaan metode pemilihan rute keseimbangan mempunyai pengaruh yang signifikan terhadap keakurasian estimasi parameter model kebutuhan transportasi.

Penggunaan jenis pemilihan rute juga sangat berpengaruh terhadap waktu proses komputer. Pada Tabel 8 dapat dilihat bahwa penggunaan metode pemilihan rute *all-or-nothing* mempunyai waktu proses komputer yang lebih cepat dibandingkan dengan pemilihan rute keseimbangan. Hal itu disebabkan karena pada pemilihan rute *all-or-nothing* tidak diperlukan proses iterasi untuk meminimumkan fungsi biaya, seperti yang dilakukan untuk pemilihan rute keseimbangan.

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, semakin banyak proses pemilihan rute, sehingga waktu proses komputernya semakin lama.

Berdasarkan faktor-faktor pengaruh yang telah disebutkan sebelumnya, kombinasi yang terbaik dalam melakukan estimasi parameter model kebutuhan transportasi jika digunakan model GR adalah menggunakan model batasan-bangkitan-tarikan, fungsi hambatan Tanner, metode estimasi KTB, dan pemilihan rute keseimbangan.

KESIMPULAN

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

- Metode sebaran pergerakan *Gravity* (GR);
- Metode Estimasi Kuadrat-Terkecil (KT), Kuadrat-Terkecil-Berbobot (KTB), Kemiripan-Maksimum (KM), Inferensi-Bayes (IB), dan Entropi-Maksimum (EM); dan
- Teknik Pemilihan Rute Keseimbangan (*Equilibrium Assignment*) dan *All-Or-Nothing*

Berdasarkan faktor-faktor pengaruh tersebut, kombinasi yang terbaik dalam melakukan estimasi parameter model kebutuhan transportasi jika digunakan model GR adalah menggunakan model batasan-bangkitan-tarikan, fungsi hambatan Tanner, metode estimasi KTB, dan pemilihan rute keseimbangan.

DAFTAR PUSTAKA

- Suyuti, R. 2006. *Estimasi Model Kebutuhan Transportasi Berdasarkan Informasi Data Arus Lalulintas Pada Kondisi Pemilihan Rute Keseimbangan*. Disertasi S3. Institut Teknologi Bandung.
- 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*, United Kingdom.
- 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. Bandung: Penerbit ITB.
- 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.

