

# ESTIMASI MATRIKS ASAL TUJUAN BERDASARKAN DATA TELEPON SELULER: STUDI KASUS PROVINSI BALI

**Revy Safitri**  
Program Magister Teknik Sipil  
Fakultas Teknik Sipil dan  
Lingkungan  
Institut Teknologi Bandung  
Jln. Ganesha No. 10  
Bandung 40132  
Tlp./Fax. 62-22-2506445  
revy.safitri@gmail.com

**Idwan Santoso**  
Program Magister Teknik Sipil  
Fakultas Teknik Sipil dan  
Lingkungan  
Institut Teknologi Bandung  
Jln. Ganesha No. 10  
Bandung 40132  
Tlp./Fax. 62-22-2506445  
idwan2003@yahoo.com

**Sony Sulaksono Wibowo**  
Program Magister Teknik Sipil  
Fakultas Teknik Sipil dan  
Lingkungan  
Institut Teknologi Bandung  
Jln. Ganesha No. 10  
Bandung 40132  
Tlp./Fax. 62-22-2506445  
sonyssw@si.itb.ac.id

## Abstract

Origin-Destination Matrix is a two-dimensional matrix that contains travel demand information between different locations (zones). Based on previous studies, it is known that using mobile phone data has great potential for estimating OD Matrix effectively. The purpose of this research to assess OD matrix estimation based on mobile phone data that recording continuously Base Transceiver Station (BTS) location which connected to mobile station as long as the device is powered on, case study in Bali Province. The approach to estimate OD matrix based on mobile phone data is by generating individual trajectory based the temporal sequence of location BTS data for each mobile phone users. Results of OD matrix estimation based on mobile phone data show the hourly and daily trip patterns of mobile phone users from cellular provider in Bali Province. The conclusions of this research describe limitations of OD Matrix estimation based on mobile phone data and future research extension.

**Keywords:** Origin-Destination Matrix, mobile phone data, Base Transceiver Station, trajectory

## Abstrak

Matriks Asal Tujuan (MAT) adalah matriks berdimensi dua yang berisi informasi mengenai besarnya pergerakan antarlokasi (zona) di daerah tertentu. Berdasarkan penelitian-penelitian sebelumnya diketahui bahwa pemanfaatan data telepon seluler memiliki potensi yang besar dalam mengestimasi MAT secara efektif. Tujuan penelitian ini adalah mengkaji estimasi MAT berdasarkan data telepon seluler yang berisi informasi lokasi *Base Transceiver Station* yang terhubung dengan perangkat telepon seluler dari waktu ke waktu selama kondisi aktif dengan wilayah studi di Provinsi Bali. Pendekatan yang digunakan dalam mendefinisikan pergerakan asal tujuan berdasarkan data telepon seluler adalah dengan membangun *trajectory* individu berdasarkan data lokasi BTS yang diurutkan berdasarkan waktu untuk masing-masing pengguna telepon seluler. Hasil estimasi MAT berdasarkan data telepon seluler menunjukkan pola pergerakan pengguna telepon seluler pada periode tiap jam dan harian di wilayah Provinsi Bali. Pada kesimpulan dijelaskan keterbatasan estimasi MAT berdasarkan data telepon seluler dari penelitian ini dan rekomendasi untuk penelitian selanjutnya.

**Kata-kata kunci:** Matriks Asal Tujuan, data telepon seluler, *Base Transceiver Station*, *trajectory*

## PENDAHULUAN

Permasalahan transportasi telah menjadi isu penting terutama di wilayah perkotaan. Dalam penanganan masalah transportasi tersebut, hampir semua metode pemecahan

masalah transportasi membutuhkan informasi dasar yang mempresentasikan distribusi pergerakan, di mana dinyatakan dalam Matriks Asal Tujuan (MAT). MAT adalah matriks berdimensi dua yang berisi informasi mengenai besarnya pergerakan antarlokasi (zona) di dalam daerah tertentu. Informasi MAT dapat diperoleh dengan menggunakan metode konvensional dan metode tidak konvensional (Tamin, 2008). Metode konvensional, yaitu dengan menaksir secara langsung sampel MAT dari lapangan, biasa dilakukan dengan cara survei wawancara, foto udara, dan metode menggunakan bendera. Kelemahan metode ini adalah cenderung membutuhkan waktu yang sangat lama, biaya yang sangat mahal, tenaga kerja yang banyak, mengganggu pergerakan arus lalu lintas, dan yang terpenting hasil akhirnya hanya berlaku untuk selang waktu yang singkat. Sedangkan metode tidak konvensional menaksir MAT dengan menggunakan data arus lalu lintas, yang kelemahannya adalah sangat bergantung pada perhitungan arus lalu lintas yang akan digunakan.

Pada saat ini, terjadi kemajuan teknologi yang sangat pesat di bidang telekomunikasi, dengan adanya peningkatan jumlah pelanggan telepon seluler di dunia. Di Indonesia, pada tahun 2013, jumlah pelanggan telepon seluler mencapai angka 313,22 juta. Sedangkan data penduduk Indonesia hasil sensus 2010 menunjukkan angka 238,51 juta dan pada tahun 2013 diperkirakan 248,8 juta. Ini berarti pada tahun 2013 jumlah pelanggan telepon seluler telah melampaui jumlah penduduk Indonesia. Fenomena ini yang kemudian menarik perhatian para peneliti untuk mengembangkan metode baru dalam mengestimasi MAT dengan memanfaatkan data telepon seluler. Estimasi MAT dengan memanfaatkan data telepon seluler memiliki potensi yang besar untuk menghasilkan MAT dengan kualitas yang baik dan berbiaya lebih murah dibandingkan metode konvensional. Selain itu, berdasarkan beberapa penelitian lainnya diketahui bahwa pemanfaatan data seluler memiliki potensi yang besar dalam mengestimasi MAT (Zhang, et al., 2010, Papacharalampous, 2014, dan Rajna. 2014).

Penelitian ini mencoba mengkaji estimasi MAT berdasarkan data telepon seluler dengan wilayah studi di salah satu provinsi di Indonesia, yaitu Provinsi Bali. Data telepon seluler yang digunakan berupa data yang berisi informasi lokasi *Base Transceiver Station* (BTS) yang terhubung dengan perangkat telepon seluler (*mobile station*) dari waktu ke waktu selama kondisi aktif.

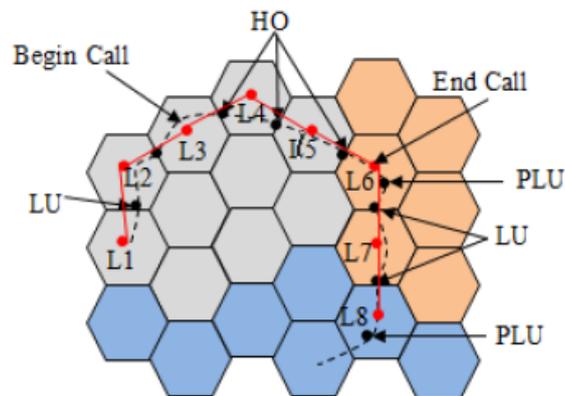
### **Data Telepon Seluler**

Data telepon seluler merupakan jejak digital yang ditinggalkan perangkat telepon seluler dan tercatat dalam sistem jaringan seluler. Informasi yang diberikan data telepon seluler secara umum, terdiri atas:

- User ID : nomor telepon pengguna seluler sebagai anonim
- Timestamp : waktu (tanggal, jam, menit, detik)
- LAC : *Location Area Code* mewakili lokasi pelayanan jaringan seluler
- CI : *Cell ID* mewakili radio/antena pemancar operator

Data telepon seluler yang dikumpulkan oleh operator seluler dibagi menjadi 2 kategori, yaitu berdasarkan aktivitas dan berdasarkan jaringan (Calabrese, 2011). Pada penelitian ini data telepon seluler yang digunakan merupakan data berdasarkan jaringan yang berisi informasi lokasi *Base Transceiver Station* (BTS) yang terhubung dengan perangkat telepon seluler (*mobile station*) dari waktu ke waktu selama kondisi aktif. Data ini dikumpulkan oleh operator dengan tujuan agar dapat memberikan pelayanan optimal kepada pengguna layanan seluler tersebut. Proses pencatatan data berdasarkan jaringan ke dalam sistem jaringan seluler apabila terjadi aktivitas berikut ini:

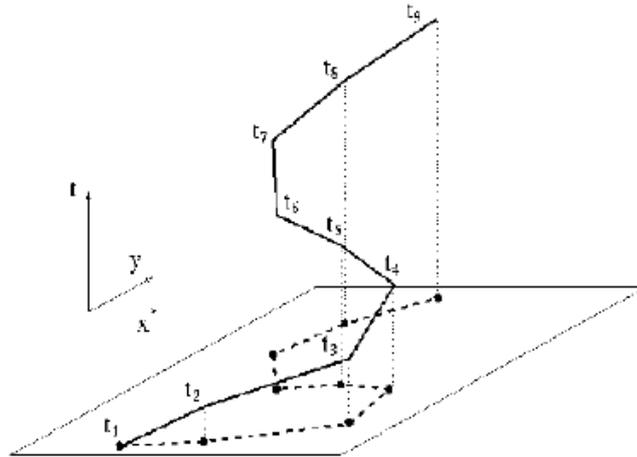
- *Hand Over* (HO); proses perubahan pelayanan/peng-handle-an sebuah *mobile station* dari suatu antena BTS ke satu antena BTS lain dikarenakan adanya pergerakan *mobile station* yang menjauhi antena BTS awal dan mendekati antena BTS baru. *Hand Over* hanya terjadi pada saat *mobile station* sedang melakukan hubungan dengan *mobile station* lain, misalnya panggilan telepon;
- *Location Update* (LU); sama halnya dengan HO tetapi terjadi pada saat *mobile station* sedang bebas;
- *Periodic Location Update* (PLU); informasi lokasi pelayanan akan otomatis tercatat secara berkala dalam sistem jaringan seluler pada periode waktu tertentu yang ditentukan oleh operator, namun biasanya diatur setiap 2 jam.



**Gambar 1** Lintasan Lokasi Perangkat Telepon Seluler Menggunakan Data Berdasarkan Jaringan

### **Trajectory Data**

Perangkat telepon seluler meninggalkan jejak digital sebagai lintasan, yang menggambarkan pergerakan penggunanya, yang akan menghasilkan jenis data baru yang disebut dengan lintasan objek bergerak atau yang disebut dengan *trajectory*. *Trajectory* data merupakan data yang direpresentasikan dengan kumpulan titik-titik yang terletak dalam ruang dan waktu tertentu atau yang disebut dengan data *spatio-temporal*.  $T = (t_1, x_1, y_1), \dots, (t_n, x_n, y_n) \Rightarrow$  Posisi pada waktu  $t_i$  dengan koordinat  $(x_i, y_i)$ .



Gambar 2 Trajectory Data

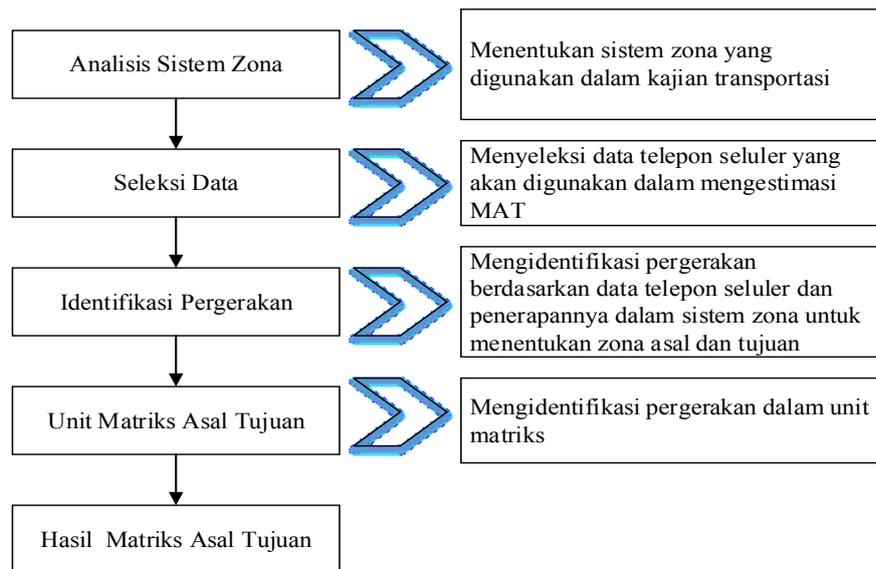
## DATA DAN METODOLOGI

Data utama yang dibutuhkan merupakan data telepon seluler, yang merupakan data berdasarkan jaringan yang berisi informasi lokasi BTS yang terhubung dengan perangkat telepon seluler dari waktu ke waktu pada saat kondisi aktif. Data yang dikumpulkan berasal dari nomor lokal *provider* seluler Telkomsel di Provinsi Bali selama 7 hari pada bulan Oktober 2014 dengan total keseluruhan data sebanyak sekitar 1,7 juta. Berdasarkan rekapitulasi data diketahui bahwa data yang dikumpulkan selama 1 minggu ternyata memiliki kekurangan data karena ada data yang hilang pada jam tertentu. Hal ini dikarenakan ada data yang tidak tercatat ke dalam sistem pada jam tersebut. Selain data telepon seluler, diperlukan juga data pendukung lain berupa data BTS Telkomsel dan data administrasi wilayah studi.

### Pengolahan Data

Dalam mengestimasi MAT berdasarkan data seluler, tahap pengolahan data dibagi menjadi beberapa tahap. Tahap pengolahan data ini ditunjukkan pada Gambar 3.

Pembagian zona tidak hanya mengacu pada sistem pembagian wilayah secara administratif tapi juga dipengaruhi oleh keberadaan BTS Telkomsel. Berdasarkan analisis sistem zona, batas zona yang digunakan dalam penelitian ini meliputi batas zona kabupaten/kota dan zona kecamatan. Zona kabupaten/kota terdiri atas 9 zona internal dan 3 zona eksternal. Sedangkan zona kecamatan berasal dari 3 kabupaten/kota yang memiliki tingkat kepadatan penduduk tertinggi, yaitu Denpasar, Badung, dan Gianyar. Dengan demikian terdapat 17 zona internal dan zona eksternal yang berasal dari kabupaten/kota di luar Denpasar, Badung, dan Gianyar.



**Gambar 3** Tahap Pengolahan Data

Seleksi data merupakan tahapan untuk menyaring data telepon seluler yang akan digunakan dalam mengestimasi MAT. Pengguna telepon seluler yang hanya memiliki 1 data yang tercatat dan berasal dari lokasi BTS yang sama dalam periode 1 hari dapat dinyatakan tidak melakukan pergerakan, sehingga data tersebut tidak dapat digunakan dalam mengestimasi MAT.

Pendekatan awal yang dilakukan untuk mengidentifikasi pergerakan dalam mengestimasi MAT adalah membangun *trajectory* individu berdasarkan data lokasi BTS yang terhubung dengan perangkat telepon seluler yang diurutkan berdasarkan waktu (*temporal sequence*) masing-masing pengguna telepon seluler, yang direpresentasikan sebagai berikut:

$$L_u = (l_u^1, l_u^2, \dots, l_u^n) \quad (1)$$

dengan:

L = lokasi BTS yang terhubung dengan perangkat telepon seluler

u = pengguna telepon seluler

Kemudian lokasi BTS yang terhubung dengan perangkat telepon seluler untuk masing-masing pengguna telepon seluler didefinisikan ke dalam sistem zona. yang direpresentasikan sebagai berikut:

$$Z_u = (z_u^1, z_u^2, \dots, z_u^n) \quad (2)$$

dengan:

Z = zona

u = pengguna telepon seluler

Selanjutnya pergerakan dapat diidentifikasi dengan metode *trip-based*. Dari lintasan yang terbentuk pergerakan didefiniskan sebagai lintasan/jalur yang terbentuk antara dua zona yang berbeda untuk tiap *trajectory* individu pengguna telepon seluler.

MAT memberikan informasi mengenai pergerakan pada periode waktu tertentu. Analisis *cycle time* digunakan unit matriks setiap jam dan harian baik untuk MAT Antar-Zona kabupaten/kota maupun antarkecamatan.

Hasil akhir pengolahan data merupakan akumulasi trip yang bergerak dari zona asal menuju zona tujuan yang sama pada rentang waktu tertentu dari seluruh pengguna telepon seluler yang ditampilkan dalam bentuk matriks. MAT yang dihasilkan merepresentasikan pergerakan pengguna telepon seluler di Provinsi Bali setiap jam dan harian.

## HASIL DAN PEMBAHASAN

### Total Pergerakan Antar-Zona

Total pergerakan pengguna telepon seluler ( $\sum_i \sum_d Tid$ ) merupakan jumlah pergerakan pengguna telepon seluler yang berasal dari zona asal atau jumlah pergerakan pengguna telepon seluler yang menuju zona tujuan. Total pergerakan pengguna telepon seluler Antar-Zona kabupaten/kota ( $\sum_i \sum_d Tid$ ) di Provinsi Bali disajikan pada Tabel 1.

**Tabel 1** Rekapitulasi Total Pergerakan Pengguna Telepon Seluler Antar-Zona Kabupaten/Kota di Provinsi Bali

| Hari/Tanggal        | Total Data Telepon Seluler yang Tercatat | $\sum_i \sum_d Tid$ | Persentase |
|---------------------|--|---------------------|------------|
| Senin, 6 Okt 2014   | 181.366                                  | 24.103              | 13,29%     |
| Selasa, 7 Okt 2014  | 188.489                                  | 25.397              | 13,47%     |
| Rabu, 8 Okt 2014    | 198.379                                  | 28.792              | 14,51%     |
| Kamis, 9 Okt 2014   | 264.675                                  | 35.921              | 13,57%     |
| Jumat, 10 Okt 2014  | 282.237                                  | 40.355              | 14,30%     |
| Sabtu, 11 Okt 2014  | 314.554                                  | 48.160              | 15,31%     |
| Minggu, 12 Okt 2014 | 310.577                                  | 46.879              | 15,09%     |
| Jumlah              | 1.740.277                                | 249.607             | 14,34%     |
| Rata-rata           | 248.611                                  | 35.659              | 14,34%     |

Berdasarkan Tabel 1 total pergerakan harian pengguna telepon seluler dalam jangka waktu 1 minggu Antar-Zona kabupaten/kota mencapai 249.607 trip dari total data telepon seluler yang tercatat, yaitu sejumlah 1.740.277. Total pergerakan harian rata-rata pengguna telepon seluler Antar-Zona kabupaten/kota di Provinsi Bali mencapai 35.659 trip/ hari atau 14,34%.

Total pergerakan pengguna telepon seluler Antar-Zona kecamatan dirangkum pada Tabel 2. Total pergerakan harian pengguna telepon seluler dalam jangka waktu 1 minggu Antar-Zona kecamatan mencapai 444.762 trip dari total data telepon seluler yang tercatat sejumlah 1.740.277. Total pergerakan harian rata-rata pengguna telepon seluler Antar-Zona kecamatan di Provinsi Bali mencapai 63.538trip/hari atau sebesar 25,56%.

Berdasarkan penjelasan total pergerakan harian pengguna telepon seluler Antar-Zona kabupaten/kota dan zona kecamatan terdapat perbedaannya yang signifikan terkait total pergerakan yang terjadi. Hal ini sebenarnya menunjukkan bahwa total pergerakan di Provinsi Bali lebih didominasi oleh pergerakan Antar-Zona kecamatan.

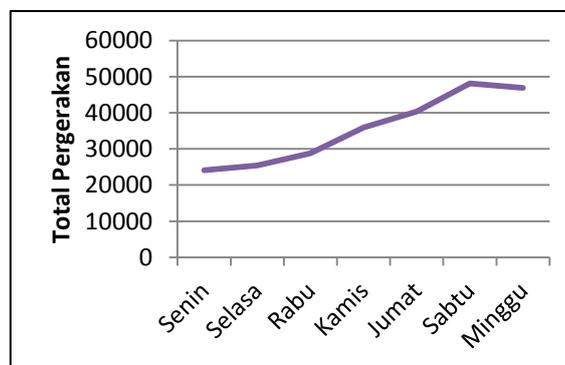
**Tabel 2** Rekapitulasi Total Pergerakan Pengguna Telepon Seluler Antar-Zona Kecamatan di Provinsi Bali

| Hari/Tanggal        | Total Data Telepon Seluler yang Tercatat | $\sum_i \sum_d Tid$ | Persentase |
|---------------------|--|---------------------|------------|
| Senin, 6 Okt 2014   | 181.366                                  | 44.837              | 24,72%     |
| Selasa, 7 Okt 2014  | 188.489                                  | 46.804              | 24,83%     |
| Rabu, 8 Okt 2014    | 198.379                                  | 48.842              | 24,62%     |
| Kamis, 9 Okt 2014   | 264.675                                  | 67.055              | 25,33%     |
| Jumat, 10 Okt 2014  | 282.237                                  | 73.586              | 26,07%     |
| Sabtu, 11 Okt 2014  | 314.554                                  | 84.262              | 26,79%     |
| Minggu, 12 Okt 2014 | 310.577                                  | 79.376              | 25,56%     |
| Jumlah              | 1.740.277                                | 444.762             | 25,56%     |
| Rata-rata           | 248.611                                  | 63.538              | 25,56%     |

### Pergerakan Harian

Fluktuasi total pergerakan harian pengguna telepon seluler Antar-Zona kabupaten/kota yang terjadi di Provinsi Bali dalam 1 minggu ditampilkan pada Gambar 4. Dari Gambar 4 dapat diketahui bahwa terjadi peningkatan pergerakan pada hari Senin hingga hari Sabtu, dan mengalami sedikit penurunan di hari Minggu. Hal ini berarti puncak pergerakan pengguna telepon seluler di Provinsi Bali berada di akhir pekan.

Untuk mengetahui pola bangkitan dan tarikan di hari biasa dan akhir pekan dapat dilihat Gambar 5 dan Gambar 6. Pola bangkitan dan tarikan pada hari biasa dan akhir pekan tidak memiliki perbedaan. Hari biasa maupun akhir pekan didominasi pergerakan pengguna telepon seluler yang berasal dan menuju zona Denpasar, Badung, dan Gianyar. Hal ini sejalan dengan tingginya kepadatan penduduk di ketiga zona tersebut. Sedangkan, pergerakan Antar-Zona kecamatan didominasi pergerakan di wilayah Denpasar dan wilayah sekitarnya, yaitu Kuta, Kuta Selatan, Kuta Utara, Mengwi, dan Sukawati, seperti yang ditunjukkan pada Gambar 7.



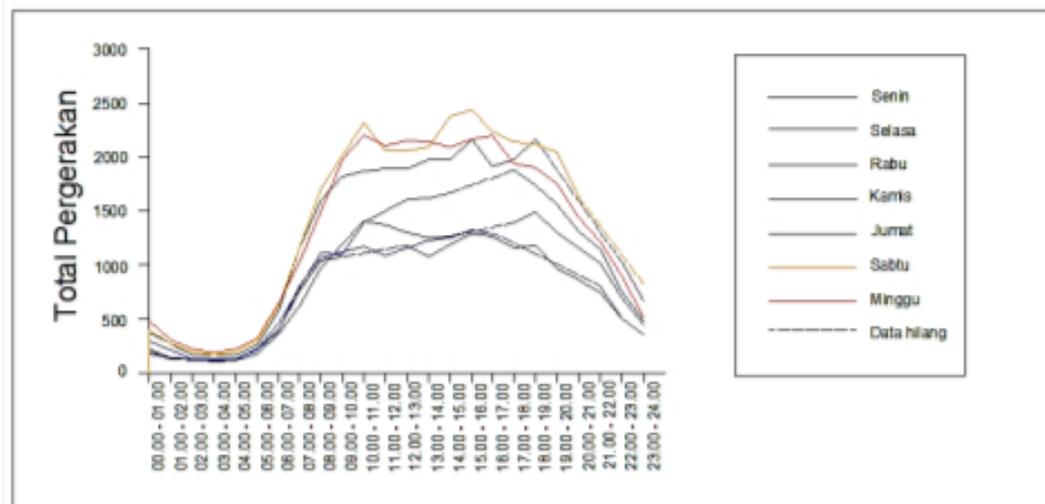
**Gambar 4** Fluktuasi Total Pergerakan Harian Pengguna Telepon Seluler di Provinsi Bali



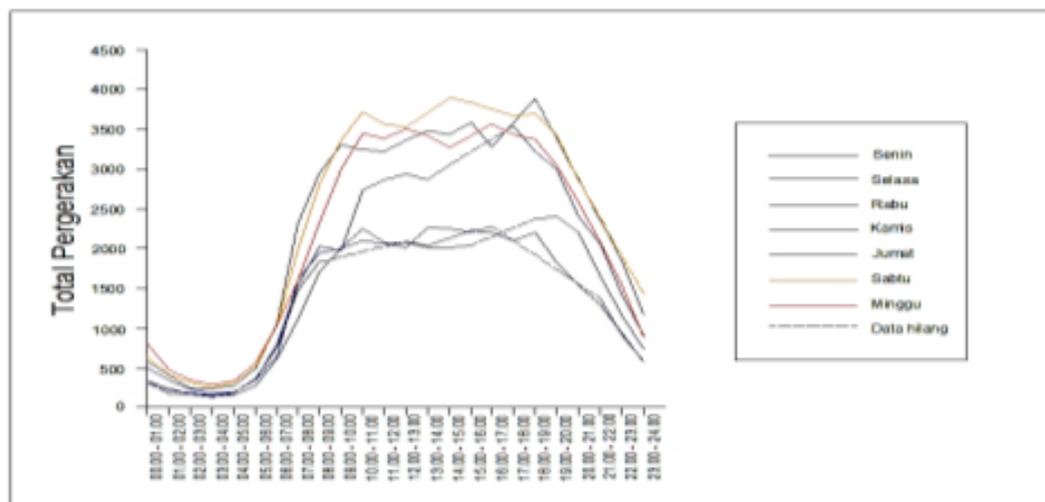


## Pergerakan Tiap Jam

Fluktuasi total pergerakan pengguna telepon seluler Antar-Zona kabupaten/kota dan Antar-Zona kecamatan tiap jam dalam 1 minggu *ditunjukkan* pada Gambar 10 dan Gambar 11. Terdapat data yang hilang pada jam dan hari tertentu yang mempengaruhi masing-masing grafik total pergerakan tiap jam yang terbentuk. Namun berdasarkan pola yang terbentuk dapat diambil kesimpulan bahwa tidak terjadi perbedaan pola pergerakan pada hari biasa maupun pada akhir pekan, baik total pergerakan tiap jam Antar-Zona kabupaten/kota maupun Antar-Zona kecamatan.



**Gambar 10** Fluktuasi Total Pergerakan Pengguna Telepon Seluler Antar-Zona Kabupaten/Kota Tiap Jam dalam 1 Minggu



**Gambar 11** Fluktuasi Total Pergerakan Pengguna Telepon Seluler Antar-Zona Kecamatan Tiap Jam dalam 1 Minggu

## KESIMPULAN DAN SARAN

Penelitian ini bertujuan mengkaji estimasi MAT berdasarkan data telepon seluler yang informasi lokasi BTS yang terhubung dengan perangkat telepon seluler dari waktu ke waktu selama kondisi aktif. Mengestimasi MAT berdasarkan data telepon seluler adalah hal yang mungkin dilakukan dengan biaya yang lebih murah dibandingkan dengan metode konvensional. Namun ada beberapa hal yang menjadi keterbatasan dalam mengestimasi MAT pada penelitian ini, yaitu bahwa pembagian zona dalam pembentukan MAT berdasarkan wilayah administratif pemerintahan akan mengurangi tingkat akurasi informasi lokasi BTS dalam data seluler di wilayah perbatasan zona. Hal ini disebabkan, ada kemungkinan pengguna telepon seluler yang berada di wilayah perbatasan teridentifikasi oleh sinyal antenna BTS di zona lain yang memiliki jarak lebih dekat dan sinyal yang lebih kuat.

Lokasi dengan kerapatan BTS yang tinggi mempengaruhi jumlah data telepon seluler yang tercatat. Pengguna telepon seluler yang melakukan kegiatan di wilayah dengan kerapatan BTS yang tinggi memiliki jumlah data telepon seluler yang tercatat sangat tinggi karena sering terjadinya perpindahan antenna BTS. Jumlah data telepon seluler yang tercatat masing-masing pengguna telepon seluler juga dipengaruhi oleh keaktifan telepon seluler karena data telepon seluler hanya akan tercatat dalam sistem jaringan seluler saat telepon seluler dalam keadaan aktif.

Mengestimasi MAT berdasarkan telepon seluler dari 1 *provider* seluler yang berasal dari nomor lokal suatu wilayah akan menghasilkan MAT yang tidak mempertimbangkan pergerakan yang ditimbulkan oleh pendatang atau wisatawan yang berkunjung ke wilayah tersebut. Selain itu, MAT yang dihasilkan merupakan MAT *trip based* yang belum mencerminkan MAT yang digunakan dalam kajian transportasi, sehingga diperlukan *scaling factor* untuk mendapatkan MAT aktual yang dapat digunakan dalam kajian transportasi.

Dalam rangka meningkatkan hasil yang lebih baik disarankan untuk mempertimbangkan kepadatan penduduk, kerapatan BTS, dan BTS yang berada di lokasi perbatasan dalam menentukan sistem zona. Pada penelitian ini penentuan zona hanya berdasarkan wilayah administrasi dan ada tidaknya BTS di zona tersebut. Selain itu, disarankan untuk menggunakan informasi data telepon seluler dari berbagai jenis *provider* seluler yang memiliki jaringan seluler di wilayah studi untuk menangkap seluruh pergerakan yang terjadi di wilayah studi, baik yang berasal dari penduduk lokal, pendatang, maupun wisatawan.

Penelitian ini menghasilkan MAT pengguna telepon seluler sehingga diperlukan *scaling factor* yang dapat mengkonversi MAT pengguna telepon seluler ke dalam bentuk MAT aktual agar dapat digunakan dalam kajian transportasi. *Scaling factor* untuk mengkonversi MAT pengguna telepon seluler menjadi MAT aktual bisa didapatkan dengan melakukan simulasi arus lalu lintas menggunakan MAT pengguna telepon seluler,

jaringan jalan, dan karakteristik sosio-ekonomi. Arus lalu lintas hasil simulasi dibandingkan dengan arus lalu lintas yang diperoleh melalui penghitungan volume atau arus lalu lintas. Kemudian dilakukan optimasi untuk mendapatkan *scaling factor* dengan meminimalkan perbedaan arus lalu lintas hasil simulasi dengan hasil penghitungan volume atau arus lalu lintas.

## DAFTAR PUSTAKA

- Calabrese, F. 2011. *Urban Sensing Using Mobile Phone Data. UbiComp 2011 Tutorials. 13<sup>th</sup> ACM International Conference on Ubiquitous Computing. Beijing.*
- Papacharalampous, Alexandros, E. 2014. *Aggregated GSM Data in Origin Destination Studies. Transport and Planning Departement, Civil Engineering and Geosciences Faculty of Technical University of Deft. Deft.*
- Rajna, Botond. 2014. *Mobility Analysis with Mobile Phone Data. Departement of Science and Technology, Linköping University.*
- Tamin, Ofyar Z. 2008. *Perencanaan, Pemodelan, & Rekayasa Transportasi. Bandung: Institut Teknologi Bandung.*
- Zhang, Yi, Xiao Qin, Shen Dong, Bin Ran. 2010. *Daily O-D Matrix Estimation Using Cellular Probe Data. Paper. Transportation Research Board Annual Meeting. Washington. DC.*