

# STUDI KASUS PEMANFAATAN IDEAL FLOW NETWORK UNTUK MENGETAHUI TINGKAT KEMACETAN JALAN BERDASARKAN DATA GPS: KOTA SURABAYA

Felix Giovanni<sup>1</sup>, Wendy Cahyadi<sup>2</sup>

**ABSTRAK :** Kemacetan lalu lintas merupakan permasalahan yang sudah lama terjadi di kota-kota besar Indonesia. Untuk mengatasi masalah kemacetan ini, diperlukan perencanaan sistem transportasi yang tepat. Perencanaan lalu lintas biasanya menggunakan metode tradisional yang membutuhkan biaya mahal. Pada penelitian ini diusulkan untuk menggunakan pemodelan *Ideal Flow Network* untuk menganalisa tingkat kemacetan jalan. Penelitian dilakukan pada jalan-jalan di kota Surabaya menggunakan data *Global Positioning System* (GPS). Tujuan dari penelitian ini adalah membuat sistem yang mampu mendapatkan data GPS, mendesain sistem yang mampu membersihkan dan mengolah data dari ponsel, memberikan analisa kemacetan lalu lintas berdasarkan data yang sudah diolah dan dibersihkan. Penelitian dilakukan dengan merancang aplikasi dan program pendukung, mengumpulkan data dari sukarelawan, dan mengolah data yang telah dikumpulkan. Aplikasi yang digunakan adalah aplikasi pelacak GPS pada ponsel. Pengolahan data yang dilakukan antara lain pembersihan data, pencocokan peta, proyeksi data GPS, serta analisa kemacetan menggunakan *Ideal Flow Network*. Hasil dari penelitian tersebut adalah aplikasi berbasis *Android* yang mampu mendapatkan titik koordinat melalui sensor GPS pada ponsel pintar, program yang mampu dapat membersihkan, mencocokkan, mengolah, dan memproyeksi data GPS, dan tingkat kemacetan yang didapat menggunakan pemodelan *Ideal Flow Network*.

**KATA KUNCI :** *ideal flow network*, tingkat kemacetan, *global positioning system*, pelacakan ponsel, pengolahan data GPS

## 1. PENDAHULUAN

Transportasi merupakan proses perpindahan dari tempat asal menuju ke tempat tujuan. Salah satu komponen dalam transportasi adalah jalan sebagai prasarana lalu lintas. Jalan memiliki keterbatasan dalam ruang dan jumlah kendaraan terus meningkat. Berdasarkan data dari Badan Pusat Statistik (BPS), jumlah seluruh kendaraan bermotor pada tahun 2019 sebesar 133.617.012 kendaraan bermotor. Pada Periode 2015-2019, terdapat peningkatan yang cukup signifikan yaitu 6,13 persen per tahun (Badan Pusat Statistik, 2020). Dalam mengatasi kemacetan, diperlukan perencanaan sistem transportasi yang tepat. Pemodelan dapat dilakukan dengan metode tradisional dengan data arus MAT (Matriks Asal-Tujuan) dengan biaya yang mahal. Penggunaan MAT akan menjadi kendala bagi negara dengan ekonomi lemah. Berdasarkan kelemahan tersebut, dikembangkan teori baru yaitu *Ideal Flow* yang menggunakan metode dan perspektif baru dalam proses pemodelan lalu lintas (Teknomo, 2017).

Dalam pemodelan, dibutuhkan proses pengumpulan data yang mendukung. Salah satunya dengan penggunaan GPS (*Global Positioning System*). Melalui GPS, seseorang memperoleh informasi letak atau posisi, melakukan *tracking*, dan mencari alamat tujuan. Sanwal dan Walrand (1995) membahas penggunaan kendaraan bergerak sebagai sumber data untuk membuat estimasi dan prediksi lalu lintas.

---

<sup>1</sup> Mahasiswa Program Studi Teknik Sipil Universitas Kristen Petra Surabaya, b11170151@john.petra.ac.id

<sup>2</sup> Mahasiswa Program Studi Teknik Sipil Universitas Kristen Petra Surabaya, b11170176@john.petra.ac.id

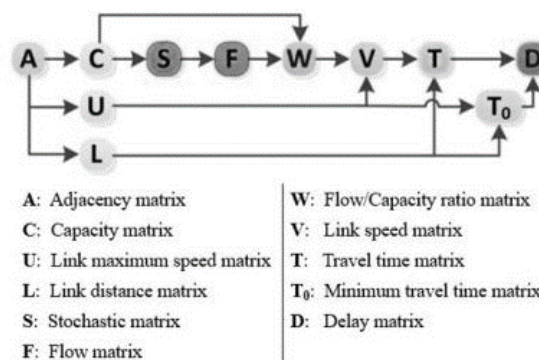
Mereka mendapatkan bahwa data GPS ini adalah sumber data lalu lintas yang sudah cukup baik untuk digunakan. Penggunaan data GPS memiliki potensial karena jumlah data yang banyak dan mudah untuk dikumpulkan.

Namun, data GPS rawan terjadi kesalahan akibat akurasi yang rendah karena gangguan cuaca dan penghalang. Odaka et al (2010) melakukan penelitian dengan menganalisis kesalahan data GPS dengan model dan chip GPS berbeda. Hal ini menyebabkan perlu adanya pengolahan dan pembersihan data yang benar untuk menghasilkan pemodelan lalu lintas.

## 2. LANDASAN TEORI

### 2.1 Ideal Flow Network

Menurut Teknomo et al. (2019), *Ideal Flow Network* merupakan sebuah model *traffic assignment* yang bertujuan untuk menentukan sebuah distribusi lalu lintas terbaik sehingga hubungan antara struktur jaringan dimanfaatkan secara optimal. Model ini menggunakan grafik dengan *nodes* sebagai titik awal, destinasi, maupun persimpangan serta *link* sebagai jalan. Kerangka alur *Ideal Flow Network* dapat terlihat pada **Gambar 1**.



**Gambar 1. Kerangka Ideal Flow Network untuk Traffic Assignment dalam bentuk Matriks (Gardon & Teknomo, 2017)**

Pengemudi akan bergerak dari titik awal ke titik tujuan dan dapat kembali ke titik awal perjalanan. Setiap pergerakan ditentukan oleh pengemudi dan akan direkam. Data yang dikumpulkan akan menjadi sebuah table dan dinyatakan sebagai *actual flow*. Penempatan angka tersebut dalam sebuah *adjacency matrix* menghasilkan *flow matrix*. Dengan memanfaatkan informasi suplai lalu lintas, *stochastic matrix* didefinisikan sebagai rasio antara kapasitas *link* dari satu *node* dan jumlah semua kapasitas *link* dari *node* yang sama. Menurut Teknomo dan Gardon (2017), matriks tersebut dapat dinyatakan dalam  $S = [s_{ij}]$  dalam bentuk **Pers. 1**.

$$s_{ij} = \frac{c_{ij}}{\sum_{j=1}^n c_{ij}} \quad (1)$$

Untuk mendapatkan *ideal flow*, distribusi stasioner probabilitas *node* yaitu  $\pi$  pertama-tama dihitung menggunakan **Pers. 2** (Teknomo et al, 2019).

$$\begin{bmatrix} S^T - I \\ j^T \end{bmatrix} \pi = \begin{bmatrix} 0 \\ 1 \end{bmatrix} \quad (2)$$

Dimana  $I$  adalah matriks identitas dan **Pers. 3**.

$$j^T = [1 \dots 1] \quad (3)$$

Kemudian *ideal flow matrix* didapatkan menggunakan **Pers. 4** (Teknomo et al, 2019).

$$f_i^T = \pi_i S_i^T, i = 1..n \quad (4)$$

*Ideal flow matrix* dapat merepresentasikan lalu lintas yang terjadi pada kejadian nyata pada lapangan. Hal ini dapat dilakukan dengan melakukan perkalian pada *ideal flow matrix* dengan angka skalar positif

( $\kappa$ ). Penskalaan akan menghasilkan matriks yang sama dengan *ideal flow matrix* dan dapat dinyatakan dalam **Pers. 5**.

$$F \equiv \kappa f, \kappa > 0 \quad (5)$$

Setelah *ideal flow matrix* telah didapatkan, dapat dilakukan perhitungan matriks rasio *flow/capacity*. Rasio *flow/capacity* ( $W$ ) dapat dinyatakan dalam **Pers. 6** (Gardon & Teknomo, 2017).

$$W = [w_{ij}] = \begin{cases} \frac{f_{ij}}{c_{ij}}, & c_{ij} \neq 0 \\ 0, & \text{otherwise} \end{cases} \quad (6)$$

## 2.2 Pembersihan Data

Menurut Hofmann-Wellenhof et al (1994), perangkat GPS sangat sensitif terhadap gangguan dari berbagai komponen yang menyebabkan ketidakakuratan. Sumber ketidakakuratan sinyal GPS dapat dikategorikan menjadi tiga: satelit, perambatan sinyal, dan penerima. Sehingga data mentah GPS butuh diolah dan dibersihkan untuk menghasilkan data yang benar dan mampu digunakan untuk menghasilkan pemodelan lalu lintas. Salah satu metode pembersihan data GPS adalah *Kalman Filter*.

Kalman Filter merupakan suatu metode yang dapat dipergunakan untuk mengestimasi variabel keadaan dari sistem dinamik stokastik linier yang terkorupsi oleh noise (Kleinbauer, 2004). Gomez-Gil et al (2013) melakukan penelitian menggunakan Kalman Filter pada data GPS. Tujuan dari penelitian tersebut adalah untuk mengurangi kesalahan posisi dari perangkat penerima GPS murah dengan menggunakan Kalman Filter. Performa filter diuji dengan menggunakan jalur traktor lurus, yang merupakan lintasan simulasi atau lintasan nyata yang diperoleh oleh penerima GPS. Hasil penelitian menunjukkan bahwa filter dapat mengurangi kesalahan kuantisasi jarak sekitar 43%. Selain itu, Kalman Filter mampu mengurangi standar deviasi sebesar 75%. Data menunjukkan bahwa filter yang diusulkan dapat dengan memuaskan memproses data perangkat penerima GPS murah saat digunakan dalam sistem panduan GPS.

## 2.3 Pencocokan Data

Diperlukan langkah pemrosesan yang mencocokkan data pelacakan agar sesuai dengan lintasan dengan jaringan jalan. Teknik ini disebut sebagai pencocokan peta. Menurut Newson dan Krumm (2009), pencocokan peta adalah prosedur untuk menentukan jalan mana yang dilalui kendaraan menggunakan data dari sensor. Algoritma pencocokan peta menggunakan input yang dihasilkan dari GPS dan melengkapinya dengan data dari peta jaringan jalan spasial resolusi tinggi untuk memberikan output pemosisian dengan akurasi tinggi. Tujuan umum dari algoritma pencocokan peta adalah untuk mengidentifikasi segmen jalan yang benar yang dilalui kendaraan dan untuk menentukan lokasi kendaraan pada segmen tersebut (Greenfeld, 2002; Quddus et al., 2003)

## 3. METODOLOGI PENELITIAN

### 3.1 Lokasi Penelitian

Lokasi penelitian ini dilakukan di Kota Surabaya dengan koordinat 7°18' - 7°20' Lintang Selatan dan 112°43' - 112°45' Bujur Timur. Pengambilan lokasi jalan berdasarkan jalan-jalan dengan klasifikasi primer, sekunder, dan jalan raya pada kota Surabaya.

### 3.2 Pembuatan Aplikasi Pelacak

Aplikasi pelacak dirancang melalui perangkat lunak Android Studio. Aplikasi yang dibentuk ditujukan untuk melacak posisi serta mendata posisi perjalanan dari pengguna aplikasi. Data GPS berupa koordinat lintang dan bujur (Latitude dan Longitude) yang terekam oleh GPS ponsel pintar. Data GPS kemudian diunggah ke basis data yang akan digunakan untuk mengetahui arus lalu lintas.

### 3.3 Pembersihan Data GPS

Data mentah GPS yang sudah didapatkan kemudian dibersihkan menggunakan program yang telah dibuat melalui perangkat lunak Python 3. Program yang dibuat menggunakan algoritma Kalman Filter untuk membersihkan data kotor pada basis data. Data yang sudah dibersihkan kemudian diperbaharui menjadi koordinat GPS yang sudah dibersihkan.

### 3.4 Pencocokan Peta

Dengan kombinasi peta digital dari OpenStreetMap dan hasil pembersihan basis data pengguna aplikasi, dicocokkan dengan peta berdasarkan data spasial jalan yang diteliti. Dengan mengaplikasikan algoritma Hidden Markov Model untuk mencocokkan data GPS dengan peta dan menghasilkan koordinat baru yang telah dicocokkan. Kemudian data GPS yang sudah dicocokkan dengan peta dicocokkan juga dengan node dan link jalan untuk mendapatkan actual flow. Pencocokan data GPS menggunakan program yang dibuat menggunakan perangkat lunak Python 3.

### 3.5 Analisa Kemacetan Lalu Lintas

Tahap ini melakukan Analisa dan pemaparan dari hasil yang didapatkan. Kemudian menarik kesimpulan yang didapat untuk menjawab tujuan penelitian. Arus lalu lintas didapatkan melalui peta hasil proyeksi yang telah dibuat sebelumnya yang kemudian dibuat matriks stokastik menggunakan program IFN-Transport (Teknomo, 2021). Untuk mendapatkan prediksi kemacetan digunakan perhitungan matriks rasio flow/capacity. Data GPS hasil pengolahan data yang merupakan actual flow digunakan untuk kalibrasi dari flow yang didapat dari pendekatan kapasitas jalan menggunakan metode Ideal Flow Network. Flow yang sudah dikalibrasi ini adalah ideal flow yang kemudian akan digunakan untuk perhitungan rasio flow/capacity. Rasio flow/capacity yang didapat kemudian diproyeksikan menjadi peta yang mampu menunjukkan dimana kemacetan terjadi.

## 4. HASIL DAN ANALISIS

### 4.1 Aplikasi Pelacak GPS

Aplikasi pelacak GPS dirancang untuk dapat melacak titik koordinat lintang dan bujur dari pengguna aplikasi. Kode sumber diambil dari kode dari aplikasi *GPS Logger* (Capelli, 2021). Kode kemudian diubah untuk menyesuaikan kebutuhan penelitian. Perubahan tersebut diantaranya nama aplikasi, interval pelacakan menjadi 5 detik, jenis format file yang disimpan menjadi hanya format *GPS Exchange Format* (.gpx), dan menambahkan fungsi unggah ke server.

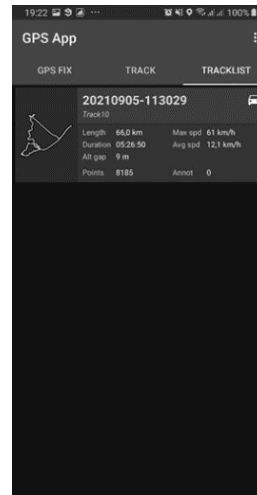
### 4.2 Pengumpulan Data

Pengguna dapat memulai pelacakan dengan menekan tombol record pada tampilan layar dan mengakhiri pelacakan dengan tombol stop. Pelacakan akan dilakukan secara otomatis oleh aplikasi pada interval waktu selama 5 detik selama perjalanan berlangsung. Pengguna dapat menyimpan, menghapus, dan memberikan nama pada file GPS hasil pelacakan. Setelah pengguna melakukan pelacakan GPS, pengguna dapat menyimpan dan mengunggah file tersebut pada server yang telah tersambung pada program. File tersimpan dalam bentuk file teks dengan format GPS Exchange Format (.gpx). Server dirancang untuk dapat menerima dan menampung data pelacakan yang dilakukan oleh pengguna. Proses pengunggahan dilakukan pada menu tracklist dan menekan tombol upload yang kemudian akan secara otomatis menuju ke form upload.

Proses pengumpulan data dilakukan oleh 10 (sepuluh) orang sukarelawan yang bersedia menggunakan aplikasi pelacak GPS. Dari hasil pengumpulan data, didapatkan 38 file data GPS yang dapat digunakan dalam penelitian. File data GPS dikumpulkan melalui server yang telah dirancang kemudian diunduh untuk dapat diolah. File data GPS memuat titik-titik koordinat lintang dan bujur dari pengguna aplikasi selama proses pelacakan. Proses pelacakan oleh aplikasi ditunjukkan pada **Gambar 2** dan **Gambar 3**.



Gambar 2 Proses Pelacakan Titik Koordinat



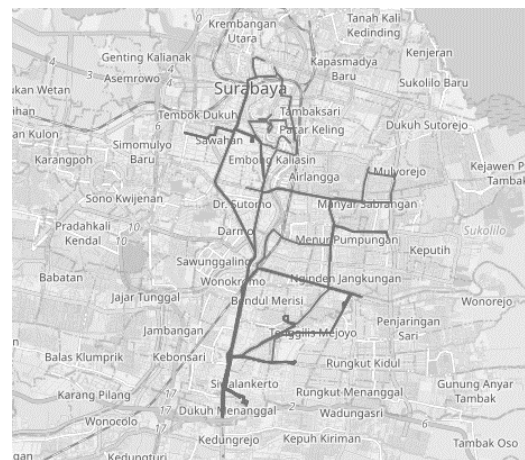
Gambar 3 Tampilan Tracklist Hasil Pelacakan

### 4.3 Pembersihan Data

Pengolahan data dilakukan dengan melakukan pembersihan terhadap data GPS yang telah dikumpulkan. Pembersihan menggunakan program yang dirancang menggunakan *Python* guna membersihkan data kotor dari hasil pelacakan. Program dibuat menggunakan kode sumber dari proyek *Noise Filtering* (Liang, 2018). Kode sumber diubah agar sesuai kebutuhan penelitian. Perubahan tersebut diantaranya menyesuaikan fungsi untuk membaca data GPS agar dapat membaca data GPS pada penelitian ini secara langsung dan mengubah angka kovarian transisi untuk mendapatkan hasil pembersihan yang terbaik. Pembersihan dilakukan dengan menggunakan algoritma *Kalman Filter* yang diterapkan pada program *Python*. Pembersihan terhadap data dapat ditunjukkan pada **Gambar 4** dan **Gambar 5**.



Gambar 4 Proyeksi Data Mentah GPS



Gambar 5 Proyeksi Data GPS yang telah Dibersihkan

### 4.4 Pencocokan Peta

Program pencocokan peta dan proyeksi dibuat menggunakan kode sumber dari proyek *Noise Planet* (Durjardin dan Mermet, 2021). Kode sumber diubah agar sesuai kebutuhan penelitian. Perubahan tersebut diantaranya proyeksi data yang sudah dicocokkan dibuat agar mampu memproyeksikan lebih dari satu data GPS dan menambah fungsi untuk memproyeksikan data node dan link dalam bentuk peta.

Data node dan link pada jalan yang digunakan adalah sebanyak 14.429 nodes dan 18.293 links. Data tersebut didapatkan melalui program *IFN-Transport* dengan *OpenStreetMap* (OSM). Data-data GPS, yang sudah dibersihkan dan dicocokkan pada peta kemudian dicocokkan dengan data node dan link menghasilkan file teks yang kemudian digunakan pada tahap analisis kemacetan menggunakan program

IFN-Transport. Hasil pencocokan data perjalanan pengguna aplikasi dengan node dan link ini terdapat 2007 link yang dilewati oleh pengguna aplikasi pelacak GPS. Berdasarkan data yang dikumpulkan, diketahui bahwa Jalan Jendral Ahmad Yani merupakan jalan yang paling banyak dilewati yaitu sebanyak 8 perjalanan. Hasil pencocokan data GPS ditampilkan pada **Gambar 6**.



**Gambar 6** Pemetaan Data GPS yang sudah Dibersihkan dan Dicocokkan

#### 4.5 Analisa Kemacetan Lalu Lintas

Berdasarkan hasil analisa dari program IFN-Transport dengan kalibrasi data arus lalu lintas pengguna aplikasi pelacak diperoleh prediksi kemacetan lalu lintas. Nilai tingkat kemacetan, yang merupakan rasio antara flow/capacity, beserta estimasi arus, kecepatan, waktu perjalanan, dan delay. Hasil analisa menggunakan program *IFN-Transport* ditampilkan pada **Gambar 7**.



**Gambar 7** Pemetaan Angka Rasio Kemacetan (*flow/capacity*)

Dari hasil pemodelan *Ideal Flow Network* menggunakan program *IFN-Transport* didapatkan rata-rata kemacetan sebesar 0,036236 dengan nilai median sebesar 0,016587 serta nilai modus 0,021976. Nilai maksimum dari kemacetan sebesar 1,014337 dan nilai minimum sebesar 0,000398. Analisis kemacetan memiliki standar deviasi sebesar 0,058069.

## 5. KESIMPULAN DAN SARAN

### 5.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian pemanfaatan *Ideal Flow Network* pada jalan di kota Surabaya dapat disimpulkan sebagai berikut:

1. Aplikasi mampu mendapatkan titik koordinat melalui sensor GPS pada ponsel pintar yang bertujuan sebagai alat pengumpulan data. Aplikasi dapat digunakan pada ponsel pintar dengan basis operasi *Android*. Aplikasi mampu membaca informasi GPS berupa titik koordinat lintang dan bujur.

Informasi tersebut dapat disimpan dalam sebuah file dan aplikasi mampu mengunggah file ke dalam server yang tersambung pada aplikasi.

2. Program yang telah dibuat dengan menggunakan *Python* dapat membersihkan, mencocokkan, mengolah, dan memproyeksi data GPS. Pembersihan data menggunakan program *Python* dengan menggunakan algoritma *Kalman Filter*, program dapat membersihkan data kotor pada data mentah GPS. Sedangkan program pencocokan peta, dengan menggunakan algoritma *Hidden Markov Model*, mampu mencocokkan data GPS yang sudah dibersihkan pada data spasial jalan kota Surabaya yang diteliti.
3. Nilai kemacetan, estimasi arus, kecepatan, dan waktu perjalanan dari jalan-jalan di kota Surabaya dapat dihasilkan menggunakan *Ideal Flow Network*.
4. Proses pengolahan data hingga mendapatkan hasil tidak dapat dilakukan secara *real time* melainkan selama dua hari.

## 5.2 Saran

Berdasarkan hasil penelitian pemanfaatan *Ideal Flow Network* pada jalan di kota Surabaya, penelitian member saran sebagai berikut:

1. Pada penelitian selanjutnya jumlah sukarelawan dapat ditambah sehingga data GPS yang dihasilkan lebih banyak. Data GPS yang semakin banyak dapat meningkatkan kualitas dari hasil analisis menggunakan *Ideal Flow Network*.
2. Pada penelitian selanjutnya dapat menggunakan tipe jalan yang lebih lengkap, seperti menambahkan jalan dengan klasifikasi tersier, jalan perumahan, jalan tol, dan lainnya.
3. Pada penelitian selanjutnya, perangkat keras untuk mengolah data (laptop/komputer) disarankan menggunakan perangkat dengan spesifikasi yang performanya lebih tinggi terutama pada prosesor, RAM, dan graphic card. Prosesor disarankan menggunakan generasi terbaru seperti Intel i7 generasi 10 atau 11 serta RAM sebesar 16 GB atau 32 GB.
4. Pada penelitian selanjutnya, hasil analisa dengan *Ideal Flow Network* dapat diuji keakuratannya terhadap data nyata di lapangan.

## 6. DAFTAR REFERENSI

- Badan Pusat Statistik. (2020). *Statistik Transportasi Darat 2019*. Jakarta, Indonesia: Author.
- Capelli, G. (2021). "GPS Logger." *Github Repository*. Retrieved from <<https://github.com/BasicAirData/GPSLogger>> (September 1, 2021)
- Durjadin, A. & Mermet, S. (2021). "Noise Planet." *Github Repository*. Retrieved from <<https://github.com/arthurjdn/noiseplanet>> (September 15, 2021)
- Gardon, R.W. & Teknomo, K. (2017). "Analysis of the Distribution of Traffic Density Using the Ideal Flow Method and the Principle of Maximum Entropy." *Philippine Computing Science Congress*. Proceedings of the 17<sup>th</sup> Philippine Computing Science Congress, Cebu City, Philippines, March 16 – March 18.
- Gomez-Gil, J., Ruiz-Gonzalez, R., Alonso, S., & Gomez-Gil, F. (2013). "A Kalman Filter Implementation for Precision Improvement in Low-Cost GPS Positioning of Tractors." *Sensors*. Vol 13. 15307-15323. doi: 10.3390/s131115307.
- Greenfeld, J.S. (2002). "Matching GPS Observations to Locations on A Digital Map." *Transportation Research Board 81st Annual Meeting*. Proceedings of the 81st Annual Meeting of the Transportation Research Board, Washington D.C., January 13 - January 17.
- Hoffmann-Wellenhof, B., Lichtenegger, H., & Collins, J. (1994). *Global Positioning System: Theory and Practice*, Springer, New York.
- Kleinbauer, R. (2004). *Kalman Filtering Implementation with Matlab*. Universität Stuttgart, Helsinki, Finland.
- Liang, T. (2018). "Noise Filtering." *Github Repository*. Retrieved from <[https://github.com/tomliangg/Noise\\_Filtering](https://github.com/tomliangg/Noise_Filtering)> (September 10, 2021)

- Newson, P. & Krumm, J. (2009). "Hidden Markov Map Matching Through Noise and Sparseness." *GIS '09*. Proceedings of the 17th ACM SIGSPATIAL International Conference on Advances in Geographic Information System, New York, United States, November 4 – November 6.
- Odaka, Y., In, Y., Kitazume, M., et al. (2010). "Error Analysis of the Mobile Phone GPS and its Application to the Error Reduction." *3<sup>rd</sup> WSEAS International Conference on Advances in Sensors, Signals, and Materials* (pp. 35-40). Seikei University.
- Quddus, M. A., Ochieng, W. Y., Zhao, L. & Noland, R. B. (2003). "A General Map-Matching Algorithm for Transport Telematics Applications." *GPS Solutions*. Vol. 7, No. 3, 157–167.
- Sanwal, K. K., & Walrand, J. (1995). "Vehicles As Probes." *UC Berkeley: California Partners for Advanced Transportation Technology*. Retrieved from <https://escholarship.org/uc/item/3gh0890x>
- Teknomo, K. (2017). "Ideal Relative Flow Distribution on Directed Network". *Journal of the Eastern Asia Society for Transportation Studies*, 12, 939-958. doi: 10.11175/easts.12.939
- Teknomo, K. & Gardon, R. W. (2017). "Intersection Analysis Using the Ideal Flow Model." *Intelligent Transportation Systems*. Proceedings of the IEEE 20th International Conference on Intelligent Transportation Systems, Yokohama, Japan, October 16 – October 19, 1-6.
- Teknomo, K., Gardon, R. W., & Saloma, C. (2019). "Ideal Flow Traffic Analysis: A Case Study on a Campus Road Network." *Philippine Journal of Science*, 148(1), 51-62.
- Teknomo, K. (2021). "IFN-Transport." *Github Repository*. Retrieved from <<https://github.com/teknomo/ifn-transport>> (Oktober 15, 2021)