

TRAFFIC CONGESTION INDEX OF THE TOP 300 LARGEST CITIES IN THE WORLD BASED ON UNCALIBRATED IFN

Yanky Hermawan¹, Gabriel Bryan Lirungan²

ABSTRAK: Metode *Ideal Flow Network* (IFN) merupakan salah satu metode baru yang dapat digunakan untuk mengestimasi indeks kemacetan. Metode IFN berbeda dengan *traditional traffic assign methods* karena tidak memerlukan OD-Matrix dalam perhitungannya. Dalam menggunakan metode IFN, jaringan jalan haruslah bersifat *strongly connected network* dan jumlah arus yang keluar sama dengan yang masuk. Hal ini menyebabkan IFN bersifat *irreducible* dan *premagic*. Pada penelitian ini, metode IFN akan digunakan untuk mengestimasi angka kemacetan 300 kota besar di dunia berdasarkan GDP, jumlah populasi, dan luas area. Hasil yang dicapai akan disajikan dalam bentuk ranking sebagaimana *meranking* kota menggunakan metode IFN belum pernah dilakukan di dunia. Selain itu, angka kemacetan dibandingkan dengan berbagai indikator untuk mengetahui hubungan angka kemacetan dengan indikator tersebut. Hasil penelitian menunjukkan bahwa angka kemacetan hampir tidak berhubungan dengan GDP, jumlah populasi dan luas area suatu kota. Hasil tersebut kemudian diunggah ke situs web agar dunia dapat mengenal metode IFN sebagai alat bantu dalam mengestimasi angka kemacetan.

KATA KUNCI: *Ideal Flow Network*, indeks kemacetan, *strongly connected network*, *irreducible*, *premagic*, *ranking* kota.

1. PENDAHULUAN

Pertumbuhan penduduk di dunia menyebabkan ketersediaan lahan berkurang (Garg,2017). Pertumbuhan penduduk menyebabkan kebutuhan transportasi meningkat, tetapi ketersediaan lahan semakin berkurang. Hal ini dapat menyebabkan kemacetan dan berdampak negatif bagi masyarakat. Beberapa solusi dapat diterapkan untuk menyelesaikan kemacetan tetapi perlu dilakukan studi lebih lanjut.

Akhir-akhir ini, cara alternatif penugasan lalu lintas diusulkan oleh Teknomo (2014). Metode ini dikenal dengan IFN yang tidak memerlukan OD Matrix dalam perhitungannya. IFN semestinya dapat digunakan untuk mengestimasi angka kemacetan kota-kota di seluruh dunia. Oleh karena itu, penelitian ini dilakukan untuk membuktikan kepada dunia metode IFN dapat digunakan untuk mengestimasi angka kemacetan.

Data yang disajikan pada penelitian ini berupa ranking. Hal ini dikarenakan ranking membantu kota memahami pergerakan kota pada waktu tersebut. Satu kota akan menghasilkan satu angka kemacetan yang nantinya akan *diranking*. *Meranking* kota berdasarkan indeks kemacetan dengan metode IFN belum pernah dilakukan dimanapun sehingga penelitian ini merupakan sarana untuk memperkenalkan IFN.

¹ Mahasiswa Program Studi Teknik Sipil Universitas Kristen Petra, B11170130@john.petra.ac.id

² Mahasiswa Program Studi Teknik Sipil Universitas Kristen Petra, B11180061@john.petra.ac.id

³ Dosen Program Studi Teknik Sipil Universitas Kristen Petra, Andi@petra.ac.id

2. TINJAUAN PUSTAKA

Kemacetan

Kemacetan merupakan suatu penyumbatan atau hambatan yang terjadi di jalan. Kemacetan dapat disebabkan karena 7 alasan, yaitu: terjadi kecelakaan, perbaikan jalan, cuaca buruk, fluktuasi di hari-hari biasa (jam kerja, jam pulang sekolah, dll), terdapat *special events* atau acara, *traffic control devices* (persimpangan kereta api, periode lampu lalu lintas yang kurang baik), dan kapasitas jalan. Para ahli ekonomi dan perencana jalan menyadari bahwa kemacetan menghambat pertumbuhan ekonomi karena kemacetan menghambat daya tarik dan perluasan bisnis dan juga menurunkan kualitas hidup penduduk. Oleh karena itu, kemacetan perlu diperhatikan (Cambridge Systematics, Inc. & Texas Transportation Institute, 2005).

Ranking Kota

Perkembangan teknologi dan ilmu pengetahuan mendukung terjadinya *progress* pada kota-kota di dunia. Untuk membantu memahami bagaimana *progress* suatu kota berlangsung, diperlukan *ranking* sebagai alat bantu yang didukung dengan data yang faktual dan terbaru. *Ranking* kota membantu terwujudnya bentuk kepemimpinan kota yang lebih maju dan terinformasi dengan baik secara ilmiah. *Ranking* kota mewakili *progress* terpenuhinya tuntutan perkembangan kota tersebut atau menjadi tolak ukur saat meninjau *progress* suatu kota (Acuto, 2019).

Ideal Flow Network

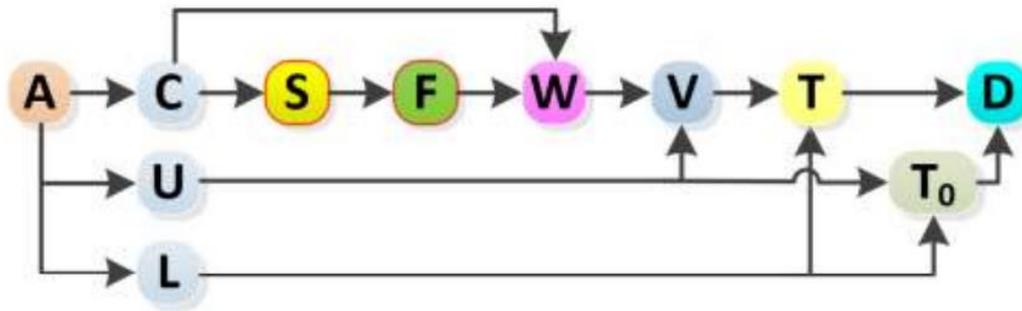
Dalam bidang transportasi, IFN dapat menjadi salah satu alat bantu yang dapat digunakan untuk mengukur suatu kemacetan (Teknomo, 2020). *Ideal Flow Network* berbeda dengan *traffic assignment models* lainnya. *Traffic assignment* model tradisional umumnya menggunakan *data travel demand* untuk memprediksi jumlah arus pada suatu jaringan. Hal ini tentunya kurang efektif karena *data travel demand* biasanya didapatkan melalui *OD survey* yang mahal (Gardon & Teknomo, 2017).

Ideal Flow Network adalah sebuah pemodelan khusus dimana 2 kondisi harus terpenuhi. IFN memiliki 2 syarat khusus yang perlu dipenuhi. Pertama, *flow* yang digunakan haruslah merupakan *strongly connected network* dan memiliki nilai positif. Kedua, pada setiap *node*, jumlah *flow* masuk haruslah sama dengan jumlah *flow* yang keluar. Jika jaringan jalan tidak *strongly connected*, maka dapat ditambahkan *dummy nodes* atau *links* (Gardon & Teknomo, 2017). Dari sifat ini, IFN merupakan keadaan stabil dari *relative flow* dalam sebuah *strongly connected network*. *Matrix IFN* memiliki sifat *irreducible* karena merupakan *strongly connected network*. Selain itu, *matrix IFN* memiliki sifat *premagic* dimana jumlah baris *matrix* akan sama dengan jumlah kolom *matrix* (Teknomo, 2020).

Pada program *IFN Transport* oleh Teknomo, terdapat 2 cara menghitung *travel time* pada setiap *link* dalam suatu jaringan, yaitu: metode *Greenshield's model* dan *BPR cost function* (Teknomo, 2020). Berikut adalah skema IFN menggunakan metode Greenshield.

Notes:

- A = *Adjacency Matrix*
- C = *Capacity Matrix*
- U = *Link Maximum Speed Matrix*
- L = *Link Distance Matrix*
- S = *Stochastic Matrix*
- F = *Ideal Flow Matrix*
- W = *Congestion Matrix*
- V = *Link Speed Matrix*
- T = *Travel Time Matrix*
- T₀ = *Minimum Travel Time Matrix*
- D = *Delay Matrix*



Gambar 1. Pemodelan IFN menggunakan metode Greenshields (Teknomo, 2020)

Metode Greenshield's merupakan metode makroskopik untuk memprediksi *traffic trends* pada suatu jaringan jalan tanpa gangguan. Metode Greenshield's tidaklah sempurna, tetapi metode ini dapat digunakan karena metode ini cukup akurat dan sederhana dalam memprediksi *traffic trends* dalam suatu jaringan (Transportation Engineering Online Lab Manual, n.d.).

3. METODOLOGI PENELITIAN

Pengumpulan Data

Peneliti memutuskan untuk *meranking* kemacetan berdasarkan 3 indikator, yaitu: luas daerah, *GDP*, dan jumlah populasi karena 3 hal ini dianggap memiliki hubungan erat dengan kemacetan. Peneliti kemudian mencari koordinat dari masing-masing kota yang ingin digunakan. Setelah itu, koordinat kota digunakan untuk mengunduh data peta kota dari OpenStreetMap. Data peta kota kemudian disimpan pada *database*.

Pengolahan Data

Data peta kota kemudian diolah menggunakan program IFN-Transport oleh Kardi Teknomo untuk menghitung angka kemacetan. Pada penelitian ini, digunakan metode Greenshield dan nilai *maximum congestion* ditetapkan bernilai 0.9. Setelah mendapatkan angka kemacetan masing-masing kota, peneliti kemudian mencari median angka kemacetan kota sehingga menghasilkan satu angka yang mewakili indeks kemacetan satu kota. Angka kemacetan ini kemudian diurutkan sehingga membentuk *ranking* yang mengindikasikan kemacetan pada suatu kota. Hasil tersebut kemudian dianalisa lebih lanjut hubungannya dengan indikator yang digunakan (*GDP*, luas area, dan jumlah populasi). Data ranking kemudian diunggah di *website* yang dibuat untuk ditampilkan kepada seluruh dunia.

4. HASIL DAN ANALISIS

Tampilan Hasil Olahan Data



Gambar 2. Data Jaringan Jalan Kota Bridgeport Hasil Analisa Program IFN-Transport

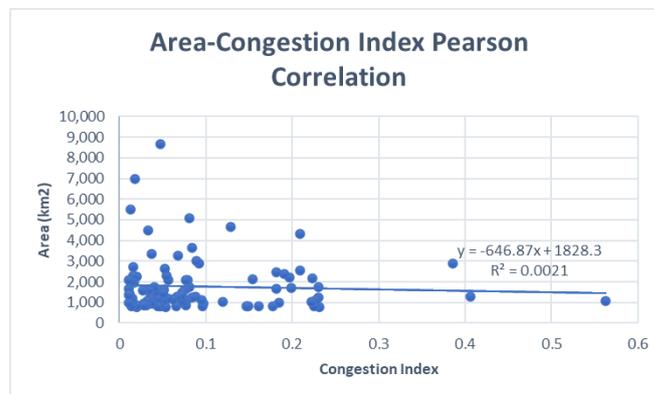
Gambar 2 merupakan hasil olahan data peta kota Bridgeport yang diunduh dari OpenStreetMap menggunakan program IFN-Transport oleh Kardi Teknomo.

Korelasi antar Indeks

Dari hasil penelitian, didapatkan bahwa korelasi angka kemacetan dengan luas area, GDP, dan jumlah populasi hampir tidak berhubungan. Koefisien korelasi Pearson antara angka kemacetan dengan luas area, GDP, dan jumlah populasi berturut-turut adalah -0.0456 , -0.054 , dan -0.0481 . Dari ketiga nilai tersebut, korelasi koefisien mendekati nilai 0 sehingga korelasi antara indeks tersebut hampir tidak berhubungan sama sekali. Selain itu nilai *r-squared* antara angka kemacetan dengan luas area, GDP, dan jumlah populasi berturut-turut adalah 0.0021, 0.0029, dan 0.0023 dapat dilihat pada **Gambar 1**, **Gambar 2**, dan **Gambar 3**. Berikut adalah tabel 10 kota dengan angka kemacetan tertinggi menurut masing-masing indikator.

Tabel 1. Top 10 Congested Cities based on Area

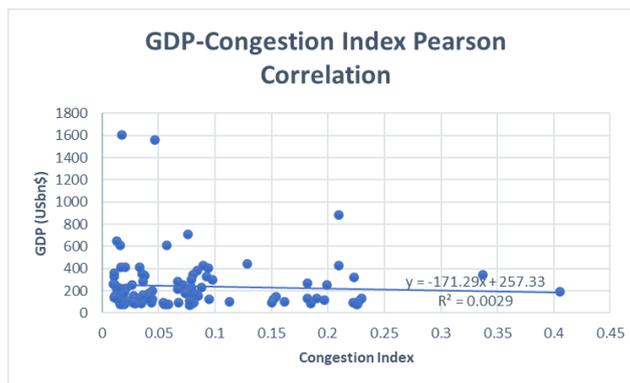
Rank by Congestion Index	City	Congestion Index	Rank by Area	Area (km ²)
1	Bordeaux	0.5625	66	1,057
2	Denver	0.40568	51	1,292
3	Nagoya	0.38571	13	2,875
4	Akron	0.23143	98	797
5	Portland	0.23023	53	1,228
6	Cincinnati	0.23	32	1,740
7	Edmonton	0.22727	84	850
8	Nashville	0.22723	63	1,116
9	Hamburg	0.225	89	829
10	Moscow	0.2229	23	2,150



Gambar 3. Korelasi Pearson antara Angka Kemacetan dengan Luas Daerah

Tabel 2. Top 10 Congested Cities based on GDP

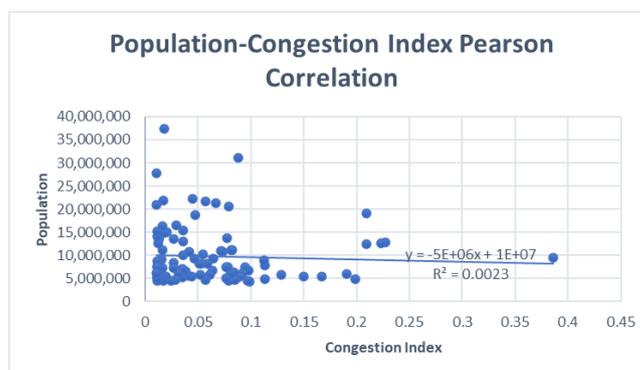
Rank by Congestion Index	City	Congestion Index	City Rank by GDP	GDP (US bn\$)
1	Denver	0.4056818	44	190
2	San Francisco	0.3373159	19	346
3	Portland	0.2302326	64	128
4	Bangalore	0.2275862	76	110
5	Salvador	0.2260181	99	75
6	Hamburg	0.225	95	78
7	Moscow	0.2228993	23	325
8	Birmingham	0.2224907	79	96
9	Los Angeles	0.2094828	3	886
10	Osaka	0.2092391	9	430



Gambar 4. Korelasi Pearson antara Angka Kemacetan dengan GDP

Tabel 3. Top 10 Congested Cities Based on Population

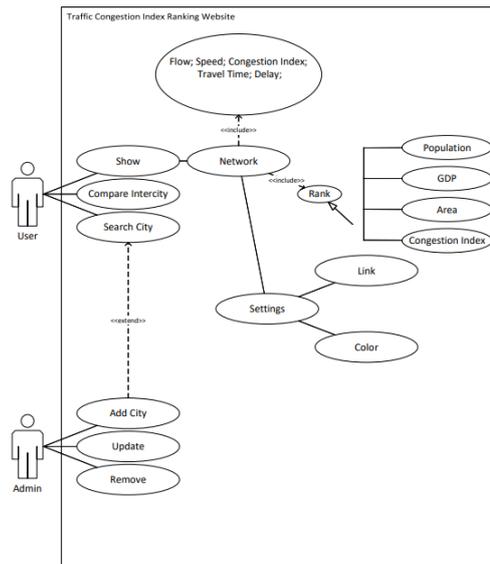
Rank by Congestion Index	City	Congestion Index	City Rank by Population	Population
1	Nagoya	0.3857143	36	9,566,000
2	Bangalore	0.2275862	24	12,765,000
3	Moscow	0.2228993	26	12,592,000
4	Los Angeles	0.2094828	27	12,459,000
5	Osaka	0.2092391	10	19,111,000
6	Sydney	0.1990734	89	4,922,000
7	Johannesburg	0.1903689	67	5,989,000
8	Yangon	0.1668639	78	5,422,000
9	Fukuoka	0.1501718	79	5,381,000
10	Philadelphia	0.1285714	72	5,734,000



Gambar 5. Korelasi Pearson antara Angka Kemacetan dengan Jumlah Populasi

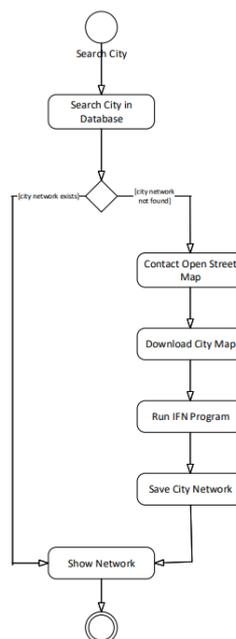
Unified Modeling Language

Gambar 6 menjelaskan interaksi apa saja yang dapat dilakukan baik *user* maupun *admin* pada website tersebut. Dapa dilihat bahwa, *user* hanya dapat menampilkan data jaringan jalan suatu kota. Selain itu, *user* dapat membandingkan data jaringan jalan dua kota dan mencari kota baru yang tidak terdaftar pada *database*



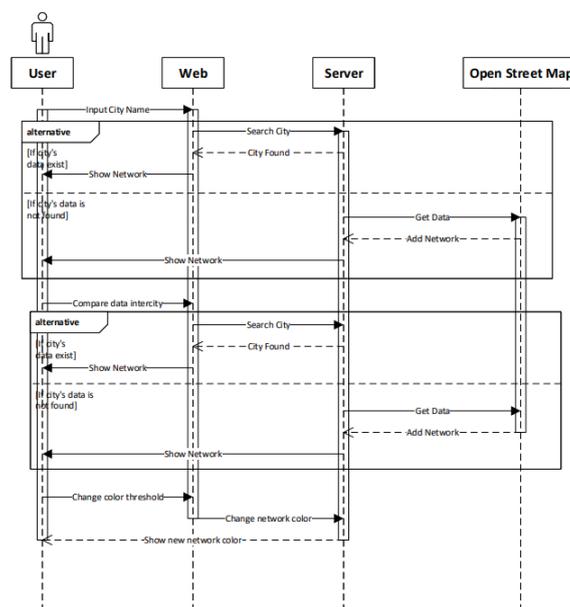
Gambar 6. Use Case Diagram

Pada **Gambar 7** Activity Diagram, dijelaskan interaksi apa saja yang terjadi jika kota tidak terdaftar dalam *database*. Jika kota tidak terdaftar dalam *database* maka, *website* akan menghubungi OpenStreetMap dan mengunduh data jaringan jalan yang kemudian akan diproses menggunakan program IFN Transport. Setelah itu, data tersebut disimpan ke dalam *database* kemudian dapat ditampilkan pada *website*.



Gambar 7. Activity Diagram

Pada sequence diagram, interaksi antar objek tidak hanya dijelaskan, melainkan objek memiliki suatu *lifetime* yang menjelaskan kapan objek tersebut aktif. Pada sequence diagram, **Gambar 8**, dijelaskan bahwa *lifetime user* merupakan yang paling lama karena *user* berperan sebagai subjek utama yang memulai dan mengakhiri interaksi.



Gambar 8. *Sequence Diagram*

5. KESIMPULAN DAN SARAN

Kesimpulan

Dari hasil penelitian, dapat disimpulkan bahwa metode IFN dapat digunakan sebagai metode untuk mengestimasi angka kemacetan yang stabil dan berjangka panjang. Korelasi antara angka kemacetan dengan jumlah populasi, GDP, dan luas area suatu kota hampir tidak berhubungan karena nilainya mendekati 0. Seperti yang sudah dibahas pada bab sebelumnya, korelasi antara jumlah populasi, GDP, dan luas area suatu kota dengan angka kemacetan juga bernilai negatif. Hal ini berarti bahwa semakin tinggi jumlah populasi, GDP, dan luas area suatu daerah, maka angka kemacetan akan cenderung semakin rendah. Hasil *ranking* angka kemacetan berdasarkan metode IFN dengan Traffic Index berbeda karena kedua penelitian menggunakan pendekatan yang berbeda.

Saran

Berdasarkan hasil penelitian yang sudah dicapai, peneliti ingin memberi saran sebagai berikut:

1. Pada module NumPy Python masih terdapat banyak bugs yang terjadi. Hal ini dapat memperlambat proses perhitungan menggunakan program IFN-Transport
2. Pada penelitian selanjutnya, peneliti menyarankan perangkat keras yang digunakan berupa perangkat laptop/komputer dengan spesifikasi yang memiliki performa *high-end*, terutama pada prosesor dan RAM yang digunakan. Processor yang disarankan menggunakan prosesor generasi terbaru seperti Intel Core i7-11th Generation dan RAM sebesar 32 GB atau lebih baik.
3. Pada penelitian selanjutnya, penelitian bisa dimodifikasi dengan menetapkan jumlah arus agar angka kemacetan maksimum tidak terbatas pada 0.9. Selain itu, penelitian selanjutnya bisa menggunakan metode BPR sebagai alternatif untuk dibandingkan dengan hasil penelitian ini.

6. DAFTAR REFERENSI

Acuto, M., Pejic, D., and Nunley, J., Moonen, T. (2019). "Why City Rankings Matter". Tersedia di: <https://blogs.scientificamerican.com/observations/why-city-rankings-matter/>

Cambridge Systematics, Inc., and Texas Transportation Institute. (2005, September 1). “*Traffic Congestion and Reliability: Trends and Advanced Strategies for Congestion Mitigation*”. Cambridge: Author.

Garg, S. (2017). “*Impact of Overpopulation on Land Use Pattern*”. Paper Presented at Environmental Issues Surrounding Human Overpopulation, Hershey (pp 137-154.). DOI: 10.4018/978-1-5225-1683-5.ch008

Teknomo, K., and Fernandez, P. (2014). “A Theoretical Foundation for The Relationship Between Generalized Origin-Destination Matrix and Flow Matrix Based on Ordinal Graph Trajectories”. *Journal of Advance Transportation Research*, 48, 608-626. DOI: 10.1002/Atr.1214

Teknomo, K. (2020). “*Ideal Flow Network (IFN) – An Introduction*”. Tersedia di: revoledu.com

Transportation Engineering Online Lab Manual. (n.d.). “*Greenshield’s Model*”. Tersedia di: https://www.webpages.uidaho.edu/niatt_labmanual/chapters/trafficflowtheory/theoryandconcepts/greenshieldsmodel.html