

Model Simulasi Aktivitas Pergerakan Penduduk Berbasis Agen (Studi Kasus: Provinsi DKI Jakarta)

M. B. A. Yusuf¹, I. Buchori²

^{1,2} Universitas Diponegoro, Indonesia

Article Info:

Received: 28 Maret 2018

Accepted: 23 April 2018

Available Online: 4 Juni 2018

Keywords:

Agent-Based Model, Urban Structure, Daily Movement

Corresponding Author:

Moh. Buggy Ardhytio Yusuf

Diponegoro University,

Semarang, Indonesia

Email: bugi.ardhytio@gmail.com

Abstrak: Tantangan urbanisasi abad-21 kedepan semakin beragam. Urbanisasi mengubah gaya hidup penduduk. Hal ini membuat perencana perlu untuk terus memperbaiki pendekatan yang digunakan. Struktur ruang merupakan salah satu komponen penting penyusunan rencana spasial di Indonesia (UU No. 26 Tahun 2007). Sayangnya, penelitian-penelitian dan praktik analisis struktur ruang yang ada belum menggunakan pendekatan sistem kompleks. Padahal, sistem kompleks merupakan salah satu pendekatan yang cukup sesuai bagi ilmu-ilmu sosial di abad ke-21. Penelitian ini berusaha membangun sebuah model pergerakan penduduk menggunakan permodelan berbasis agen. Model dirancang untuk memenuhi kebutuhan pada skala kota (1:25.000) dan skala temporal satu hari di DKI Jakarta. Hasil penelitian menunjukkan bahwa DKI Jakarta merupakan kota monosentris, jika ditinjau sebatas wilayah administrasinya. Model yang dibangun cukup valid.

Copyright © 2018 DPWK-UNDIP

This open access article is distributed under a Creative Commons Attribution (CC-BY-NC-SA) 4.0 International license.

Yusuf, M. B. A., & Buchori, I. (2018). Model Simulasi Aktivitas Pergerakan Penduduk Berbasis Agen (Studi Kasus: Provinsi DKI Jakarta). *Jurnal Teknik PWK (Perencanaan Wilayah Dan Kota)*, 7(2), 97–106.

1. PENDAHULUAN

Kota merupakan ujung tombak pembangunan berkelanjutan abad ini, yang permasalahannya tidak bisa hanya diselesaikan hanya dengan pendekatan sektoral. Masing-masing masalah saling terkait. Menyelesaikan satu permasalahan membutuhkan pandangan akan hubungannya dengan masalah yang lain. Kebutuhan akan pemahaman mengenai proses-proses yang terjadi dalam kota merupakan hal yang mendesak (Jacobs, 1961). Hal ini membuat pandangan kota sebagai sebuah sistem kompleks dan simulasi diperlukan para perencana di abad ke-21. Simulasi komputer diharapkan mampu mendukung perkembangan bidang perencanaan wilayah dan kota (Batty, 1976 dan 2009). Model simulasi memungkinkan dibuatnya laboratorium virtual bagi ilmu sosial yang memungkinkan untuk dilakukan eksperimen sebagaimana pada bidang ilmu alam (Epstein, 1999 dan 2008).

Pada konteks NKRI sendiri, DKI Jakarta yang berfungsi sebagai ibukota negara yang juga merupakan pusat kegiatan sosial-ekonomi nasional ini mengalami berbagai masalah yang sudah bisa dibilang kronis. *Megacity* terbesar di Asia Tenggara ini kerap dilanda banjir. Kesenjangan sosial tampak sangat nyata, hingga kemacetan yang setiap hari terjadi di berbagai sudut kota. Hal ini menempatkan Kota Jakarta semakin pada posisi yang kritis. Jika tidak segera diatasi, maka akan berdampak buruk bagi Indonesia kedepannya. Usaha memecahkan berbagai permasalahan tersebut membutuhkan pemahaman yang baik akan proses-proses urbanisasi yang terjadi. Sehingga permodelan dibutuhkan untuk memberikan pemahaman mengenai keadaan DKI Jakarta.

Penelitian ini berusaha mengembangkan model pergerakan penduduk di DKI Jakarta menggunakan pendekatan permodelan berbasis agen. Permodelan berbasis agen sudah cukup banyak digunakan dalam permodelan kota terutama dalam bidang transportasi (Kikuchi, Rhee, & Teodorović, 2002; Behesti dan Sukthankar, 2012; Behnisch dan Ultsch, 2015; Huynh, Cao dan Wickramasuriya, 2014; Grau & Romeu, 2015; Doscher dkk, 2011; Gambardella, Rizzoli, & Funk, 2002; Wahyudi, Liu dan Corcoran, 2015). Model yang akan dibuat akan menggambarkan alokasi kegiatan-kegiatan inti dalam ruang, sehingga dinamika aktivitas penduduk berkaitan erat dengan pembuatan model ini. Model ini diharapkan bisa digunakan sebagai salah-

satu dasar analisis rencana spasial di Indonesia. Kota Jakarta diambil sebagai studi kasus dengan pertimbangan urgensi masalah sebagaimana telah disebutkan dan ketersediaan data tingkat makro. Diharapkan dari penelitian ini dapat memberikan pandangan baru dalam pendekatan memahami masalah perkotaan. Penelitian ini masih terbatas pada batas administrasi formal, bukan wilayah perkotaan.

2. DATA DAN METODE

Permodelan dan simulasi komputer merupakan penelitian generatif, yaitu penelitian yang menggunakan teori umum untuk membuat model, lalu *output* dari model dianalisis untuk menghasilkan teori baru atau memperkuat/mengubah teori yang sudah ada. Teori dasar yang digunakan adalah teori tempat pusat (Christaller, 1933 dan Losch, 1954) dan teori lokasi sentral (Taylor, Hoyler dan Verbruggen, 2010 dan Doran dan Fox, 2015). Sebagian besar data merupakan data sekunder yang tersedia untuk publik dan bisa didapat dari instansi-instansi resmi. Sedangkan data untuk verifikasi dikumpulkan dengan *scraping* dari aplikasi sosial media twitter. Tabel 1 berikut menjabarkan kebutuhan data yang digunakan dalam penelitian ini. Pengelompokan data didasarkan pada kebutuhan model dan kemudahan untuk tiap tahapan proses permodelan. Validasi dalam penelitian ini hanya mencakup validasi tingkat makro ditinjau pada sisi permukaan (*face validation*) dengan melihat kesesuaian dengan konsep awal dan empiris (*empirical validation*) menggunakan data acuan dari twitter.

Tabel 1. Kebutuhan Data Penelitian (Analisis, 2017)

No.	Kategori	Nama Data	Jenis Data	Sumber Data	Teknik Pengumpulan
1.	Perkotaan	Tata guna lahan eksisting	Sekunder	Bappeda Kota Jakarta / <i>Openstreetmap</i>	Telaah dokumen
		Jaringan jalan	Sekunder	Bappeda Kota Jakarta / <i>Openstreetmap</i>	Telaah dokumen
2	Demografi	Jumlah penduduk menurut pekerjaan	Sekunder	BPS	Telaah dokumen
3	Aktivitas	Survey komuter Jabodetabek	Sekunder	BPS	Telaah dokumen
		Matriks asal-tujuan	Sekunder	BPS	Telaah dokumen
4	Validasi dan Verifikasi	Peta kepadatan penduduk eksisting	Sekunder	Data Twitter tergeoreferensi	Scraping Data

a. Permodelan berbasis agen

Model berbasis agen adalah metode simulasi dengan menggunakan agen yang saling berinteraksi. Agen memiliki atribut dan perilaku tertentu yang bisa dengan leluasa diprogram peneliti sesuai kebutuhannya. Desain model menggunakan metode *Design-by-Analogy*. Analogi yang digunakan adalah keberadaan penduduk merepresentasikan denyut nadi kota. Penelitian ini menggunakan aplikasi NetLogo (Wilenski, 1999) versi 6.0.1. NetLogo adalah aplikasi *freeware* berbasis Java yang bisa dijalankan pada kebanyakan sistem operasi. Agen dalam NetLogo terbagi ke dalam tiga kategori: a) *turtles*, yaitu agen yang bisa bergerak; b) *patches*, agen berbentuk *grid* yang memiliki lokasi tetap; dan c) *links*, yang menghubungkan antar 2 agen *turtles* jika terdapat relasi antar keduanya.

b. Teknik Validasi dan Verifikasi

Validasi diperlukan untuk menguji tingkat kepercayaan hasil permodelan dengan membandingkannya fenomena sebenarnya (Baldi, 1997 dan 2010). Validasi dan verifikasi model pada penelitian ini dilakukan pada tingkat struktur ruang hasil permodelan dengan membandingkan hasil permodelan dengan data penggunaan ruang eksisting yang didapatkan melalui twitter. Data twitter sudah marak digunakan dalam berbagai penelitian mengenai kota (Neuhaus, 2013). Pemanfaatan *big data* (data twitter) untuk validasi model berbasis agen diharapkan dapat meringankan kesulitan validasi dan verifikasi model berbasis agen yang memang dikenal cukup sulit (Heppenstall, 2016). Perilaku penggunaan twitter di DKI Jakarta sendiri terbilang sangat mendukung sebagai bahan validasi penelitian spasial (Leetaru dkk, 2013).

c. Dokumentasi Penelitian

Penelitian ini menggunakan aplikasi Github sebagai media dokumentasi dan penyebaran kode model.

GitHub adalah salah satu aplikasi *version control* yang sudah marak digunakan, terutama bagi kalangan pengembang aplikasi. Melalui Github, setiap pengembangan kode bisa didokumentasikan secara online tanpa terikat dengan media penyimpanan lokal. Produk model dalam penelitian ini bisa diakses melalui tautan berikut <https://github.com/bugyardhytio/skripsiabm>.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

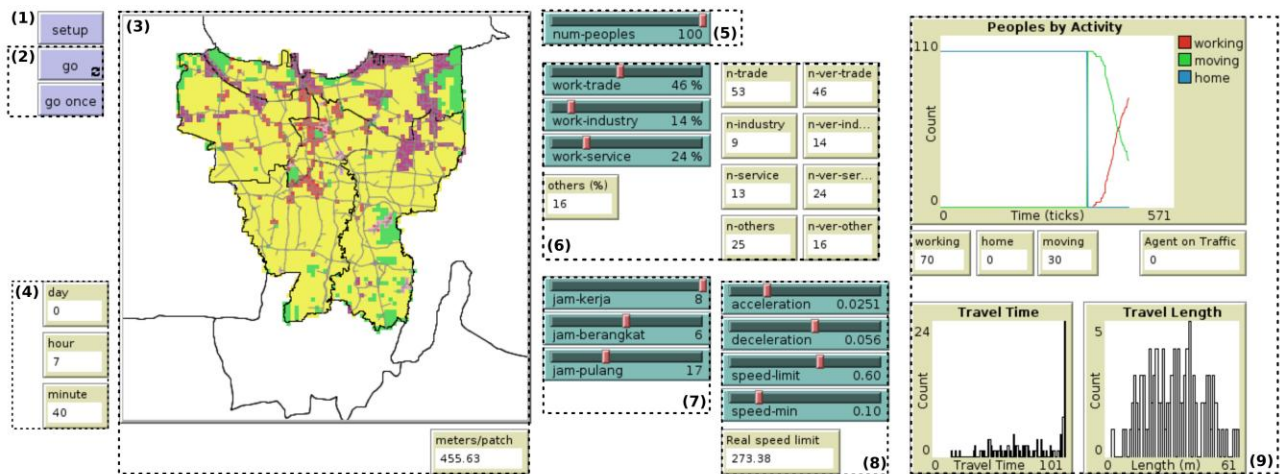
Agan dalam model ini merepresentasikan manusia yang merupakan penduduk DKI Jakarta. Agen penduduk ini pertama-tama menentukan lokasi *origin* (rumah) dan *destination* (kantor). Selanjutnya node yang terletak pada rumah agen mencari rute terdekat dari dirinya menuju node yang terletak di patch destination. Rute (dalam bentuk list) ini selanjutnya disalin oleh agen ke dalam variabel internalnya. Pergerakan dilakukan dengan mengubah variabel target pada agen sesuai urutan node pada list rute ini secara berurutan hingga mencapai akhir. Jika agen mencapai lokasi yang sama pada node target, secara otomatis target akan berpindah ke item node berikutnya pada list rute. Jika agen sudah mencapai target akhir perjalanannya (destination), agen secara otomatis akan memulai aktivitas “bekerja”nya. Pergerakan pulang dilakukan dengan iterasi berlawanan arah (hitung mundur).

Algoritma *car-following* dan *shortest path* diberlakukan pada agen penduduk. Algoritma *car-following* memerintahkan agen penduduk untuk beradaptasi dengan pergerakan agen penduduk lainnya di sekitar. Algoritma ini menghasilkan pergerakan yang realistis, sehingga bisa memunculkan fenomena kemacetan. Agen penduduk bergerak dengan menyesuaikan kecepatan dengan agen yang berada di depannya. Secara otomatis akan mengurangi kecepatan apabila terdapat agen lain pada jarak pandang dan menambah kecepatan apabila tidak ada agen lain pada jarak pandang. Jarak pandang yang dipakai adalah 5 patch di depan agen. Sedangkan algoritma *shortest path* berfungsi mencari rute menuju tempat tujuan berdasarkan jarak terdekat. Fungsi transportasi pada model berada pada Tier 0 hingga 1 (Wise, Crooks dan Batty, 2017). Model ini termasuk dalam klasifikasi agen terancang-lingkungan teranalisa (Coudelis, 2001). Protokol ODD + D (Grimm, dkk, 2006 dan 2010; Müller dkk, 2013) model dijelaskan pada Lampiran.

Aplikasi Model

Pengguna menjalankan aplikasi model melalui tampilan tatap muka sebagaimana pada Gambar 1. Tampilan muka model terdiri dari 4 bagian. Setiap bagian diletakkan sesuai hirarki fungsi dan intensitas penggunaan. Semakin terletak lebih ke kanan, hirarki fungsi semakin melemah, begitu juga dengan intensitas penggunaan. Bagian paling kiri (1) dan (2) merupakan tombol pengoperasian utama model. Selanjutnya bagian tampilan utama terdiri dari peta spasial (3) dan penunjuk waktu (4). Bagian ketiga merupakan parameter model, ditunjukkan oleh poin (5), (6), (7) dan (8). Bagian paling kanan (9) merupakan monitor untuk memantau perkembangan simulasi.

Gambar 1. Tampilan Aplikasi Model



Operasionalisasi model cukup dilakukan dengan dengan tombol poin (1) dan (2). Pengguna pertama-tama menekan tombol ‘setup’ (1) untuk mempersiapkan lingkungan kota dan penduduknya. Selanjutnya

pengguna menekan tombol 'go' (2) untuk menjalankan model secara kontinyu atau 'go-once' untuk menjalankan model satu langkah. Apabila pengguna ingin mengulang untuk menjalankan model dari awal, cukup menekan tombol 'setup' lagi. Setelah model mulai dijalankan, pengguna bisa melihat berjalannya simulasi pada bagian kedua. Proses yang terjadi pada tiap langkah permodelan terlihat pada peta spasial (3). Perkembangan waktu setiap langkah terlihat pada monitor 'day', 'hour', dan 'minute' (4). Bagian ketiga berisi parameter-parameter permodelan. Bagian ini digunakan apabila pengguna ingin mencoba menjalankan model dengan pengaturan yang berbeda dengan pengaturan standar. Parameter 'num-peoples' (4) berfungsi menentukan jumlah populasi agen penduduk. Parameter yang terletak pada poin (5) berfungsi mengatur persentase populasi untuk setiap jenis mata pencaharian. Parameter yang terletak pada poin (7) berfungsi mengatur jadwal pergerakan penduduk. Kelompok parameter terakhir pada poin (8) berfungsi menentukan batas kecepatan dan akselerasi agen penduduk ketika bergerak. Bagian terakhir merupakan grafik dan monitor yang berfungsi menampilkan statistik simulasi yang berjalan. Poin (6) merupakan monitor-monitor yang berfungsi untuk memverifikasi jumlah agen penduduk yang benar-benar ada dalam simulasi per mata pencaharian. Kelompok monitor yang terletak pada kolom sebelah kiri merupakan jumlah agen penduduk yang ada dalam simulasi. Sedangkan kelompok monitor yang terletak pada kolom sebelah kanan merupakan hasil perhitungan ideal jumlah agen penduduk per mata pencaharian. Poin (7) merupakan grafik dan monitor untuk memantau perkembangan simulasi. Grafik 'Activity' menggambarkan jumlah agen penduduk per mata pencaharian tiap satuan waktu. Grafik 'Travel Time' dan 'Travel Length' berturut-turut merupakan histogram waktu dan jarak perjalanan agen penduduk.

Komponen Model

Lingkungan agen sebagian besar dibuat menggunakan data shapefile SIG yang di-import ke dalam NetLogo menggunakan ekstensi GIS. Ada 5 shapefile yang digunakan: 1) bounds (Batas Administrasi DKI); outer-bounds (Batas Administrasi Jabodetabek), box (batas tampilan), landuse (tata guna lahan) dan roads (jaringan jalan). Tampilan simulasi terdiri dari 99 x 99 patches dengan titik nol (0,0) berada tepat di tengah. Satu patch mewakili jarak 455.63 x 455.63 meter di lapangan. Sehingga satu kotak patch mewakili DKI Jakarta 207.598,70 m² atau 0.2 km². Shapefile landuse merupakan tata guna lahan eksisting tahun 2009 (Perda No 1 Tahun 2011) yang di-overlay dengan data dari Openstreet Map (data tahun 2017) untuk menghasilkan peta yang lebih aktual. Validasi tata guna lahan menunjukkan perbedaan terbesar yaitu 48.45 km² (7.04%) untuk guna lahan permukiman dan perbedaan paling minim sebesar -0.56 km² (-0.13%) untuk guna lahan fasilitas umum. Selisih total sebesar 2.81 km², jumlah yang masih cukup bisa diterima.

Jaringan jalan direpresentasikan dengan turtle dan links. Jaringan jalan didigitasi ulang dari jaringan jalan eksisting pada peta RTRW. Hal ini dimaksudkan untuk meminimalisir jumlah titik sambungan (nodes) sehingga menjadikan komputasi simulasi rebih ringan. Jaringan jalan dibaca pada file model terpisah (setup-roads.gdf). File ini membaca shapefile dan mengimplementasikannya dalam bentuk nodes turtle dan links. Jaringan jalan dalam bentuk ini kemudian disimpan ulang dengan format khusus data jaringan (.gdf). Hal ini dimaksudkan untuk memperingan waktu load model ketika melakukan setup. Sehingga file model utama cukup membuka file jaringan jalan yang sudah dibuat, tanpa membuat nodes turtle dan links baru setiap kali memulai simulasi.

Alokasi rumah dan kantor dilakukan secara acak sesuai dengan tata guna lahan terkait. Keduanya langsung direpresentasikan sebagai nodes yang terhubung langsung ke node jaringan jalan atau rumah/kantor lain yang terdekat. Rumah terletak pada guna lahan permukiman (residential), sedangkan kantor terletak pada guna lahan perdagangan/jasa (commercial), fasilitas umum (facility) atau industri (industry). Jumlah rumah menyesuaikan dengan jumlah populasi agen penduduk. Sedangkan jumlah kantor menyesuaikan jumlah patch guna lahan perdagangan/jasa, fasilitas umum dan industri.

Jumlah agen penduduk dihasilkan dari sejumlah parameter num-peoples yang terdapat di tatap muka model. Penduduk memilih lokasi rumah dan kantor secara acak. Tampilan agen penduduk dibuat sederhana mungkin untuk mengurangi beban komputasi. Bentuk agen diatur sebagaimana default tampilan agen NetLogo. Agen penduduk melakukan pergerakan dari rumah menuju tempat kerja. Jika sudah mencapai tempat kerja, agen melakukan pekerjaan sepanjang durasi kegiatan. enduduk diasumsikan hanya bergerak menggunakan kendaraan pribadi. Hal ini dikarenakan masih minimnya persentase penggunaan kendaraan bermotor di DKI Jakarta, keterbatasan waktu dan kapasitas komputasi, serta fokus dari model ini yang berada pada persebaran aktivitas, bukan pilihan moda.

Aktivitas agen penduduk terbagi ke dalam 5 kelompok: persiapan, berangkat, bekerja, pulang, dan beristirahat. Aktivitas bekerja meliputi seluruh kegiatan yang menghasilkan nilai tambah secara ekonomi, sosial, lingkungan. Termasuk didalamnya bekerja dan bersekolah. Aktivitas istirahat meliputi seluruh kegiatan yang memulihkan kembali energi agen. Aktivitas transportasi merupakan yang paling sentral dalam model ini. Meliputi seluruh pergerakan yang dilakukan penduduk sejak keluar dari rumah, pulang dari tempat kerja atau sekadar berjalan-jalan. Aktivitas bekerja umumnya dilakukan di kantor, sedangkan aktivitas beristirahat umumnya dilakukan di rumah. Aktivitas pergerakan dilakukan di jaringan jalan. Tidak terdapat perbedaan moda dalam model ini.

Pada simulasi bebas, pengguna bisa menentukan nilai parameter sesuai kebutuhannya selama masih dalam batas interval masing-masing parameter. Pengguna dengan kemampuan lanjut bahkan bisa mengatur batas interval masing-masing parameter. Pada penelitian ini, digunakan nilai parameter-parameter sebagaimana pada Tabel 2. dibawah. Penentuan nilai persentase mata pencaharian penduduk (parameter work-trade, work-industry dan work-service) berdasarkan data persentase mata pencaharian Nilai parameter jam-kerja, jam-berangkat dan jam-pulang yang merupakan agenda penduduk ditentukan berdasarkan pertumbuhan dari survey data komuter. Sedangkan nilai parameter pergerakan ditentukan mengikuti model aslinya, *Traffic Basic* (Wilensky, 1997) dengan beberapa penyesuaian terkait skala spasial.

Tabel 2. Parameter Simulasi (Analisis, 2017)

Parameter	Nilai	Parameter	Nilai	Parameter	Nilai
<i>work-trade</i>	46	jam-kerja	8	<i>acceleration</i>	0.0251
<i>work-industry</i>	14	jam-berangkat	6	<i>deceleration</i>	0.056
<i>work-service</i>	24	jam-pulang	17	<i>speed-min</i>	0.60
				<i>speed-limit</i>	0.10

Hasil Permodelan

Hasil permodelan yang digunakan untuk analisis adalah jumlah penduduk per kecamatan per satuan waktu. Jumlah penduduk masing-masing kecamatan dihitung menggunakan variabel global sebagaimana penjelasan yang telah lalu. Jumlah ini selanjutnya dibagi dengan luas per kecamatan sebelum dianalisis, menghasilkan data kepadatan penduduk per kecamatan per satuan waktu. Hal ini dilakukan sebagai upaya menghindari bias yang disebabkan tidak meratanya luas kecamatan. Data kepadatan selanjutnya dibuat grafik per kecamatan, hasilnya sebagaimana terlihat pada Gambar 2.

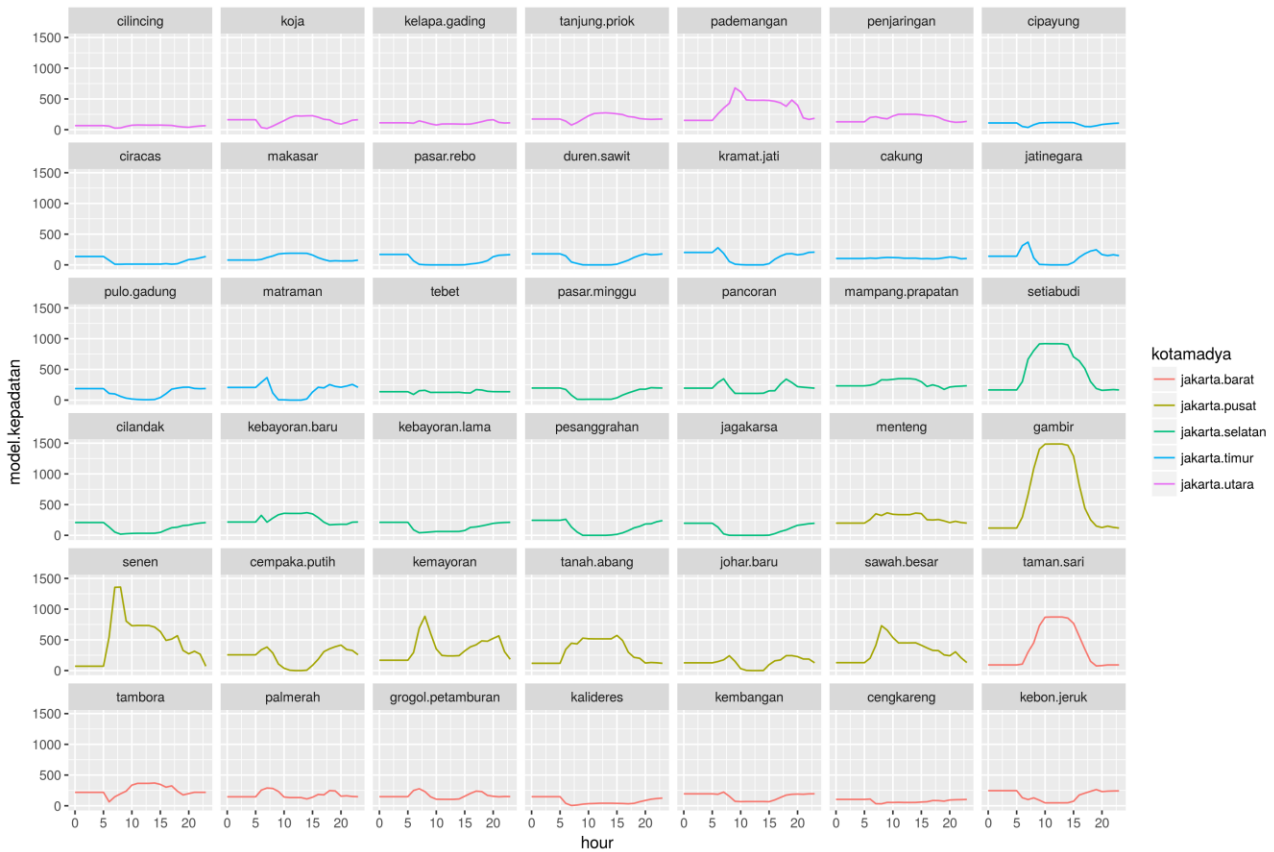
Hasil menunjukkan sebagian besar kecamatan cenderung statis. Sebagian lainnya mengalami fluktuasi pada jam sibuk membentuk pola seperti gunung yang meningkat atau seperti lembah yang menurun. Kecamatan yang mengalami peningkatan kebanyakan berada di Jakarta Pusat, yaitu Kecamatan Gambir, Kecamatan Senen, Kecamatan Kemayoran, Kecamatan Tanah Abang dan Kecamatan Sawah Besar. Pada wilayah lain hanya satu kecamatan yang mengalami peningkatan tajam pada jam sibuk yaitu Kecamatan Pademangan di Jakarta Utara, Kecamatan Setiabudi di Jakarta Selatan dan Kecamatan Taman Sari di Jakarta Barat. Tidak terdapat kecamatan dengan karakter serupa di Jakarta Timur.

Validasi

Validasi permodelan menggunakan data yang didapat dari tweet yang diunduh dari REST API Twitter yang bisa diakses oleh publik. Hasil pengunduhan dikumpulkan sebanyak 32.742 tweet. Data ini berada pada kisaran waktu bulan 14-16November 2016 dan tanggal 21 Maret 2017. Data tweet yang sudah dikumpulkan selanjutnya disaring hanya tweet yang memiliki koordinat spasial. Dari sebanyak 32.742 terseleksi sebanyak 904 tweet yang tergeoreferensi. Secara persentase, sekitar 2,76 % tweet tergeoreferensi terseleksi dari seluruh tweet yang didapatkan. Persentase ini menunjukkan bahwa penelitian Leetaru dkk (2013) masih cukup relevan jika digunakan pada masa penelitian ini dilakukan (2016-2017). Tweet yang tergeoreferensi selanjutnya dipetakan secara spasial. Masing-masing kecamatan dihitung seberapa banyak tweet yang berada dalam batas administrasinya, tanpa mempertimbangkan waktu tweet dipublikasikan pengguna. Hal ini dimaksudkan untuk mempermudah proses validasi dan karena adanya ketidakteraturan jumlah tweet jika dihitung setiap satuan waktu (detik atau jam sebagaimana data hasil permodelan). Selanjutnya jumlah tweet masing-masing kecamatan dibagi dengan luas kecamatan (menghasilkan kepadatan tweet per kecamatan) dan dipersentasekan. Hal ini dikarenakan persebaran saja

tidak cukup sebagai acuan validasi model, masih terdapat bias persentase kepadatan per kecamatan sebagaimana hasil permodelan. Perhitungan validasi dilakukan dengan menghitung selisih persentase antara hasil permodelan dengan data acuan dari Twitter. Hasil perhitungan menunjukkan selisih pada rentang yang masih bisa diterima, sebagaimana ditunjukkan oleh Gambar 3. Selisih paling besar antara hasil permodelan dan data acuan sebesar 10%, terletak di pusat kota. Perbedaan ini disebabkan oleh kecenderungan data acuan tweet yang lebih mengumpul di pusat kota, tidak seperti data hasil permodelan yang lebih menyebar. Hasil ini menunjukkan selisih yang masih bisa diterima.

Gambar 2. Grafik Kepadatan Penduduk Setiap Kecamatan Per Jam Hasil Permodelan (Analisis, 2017)



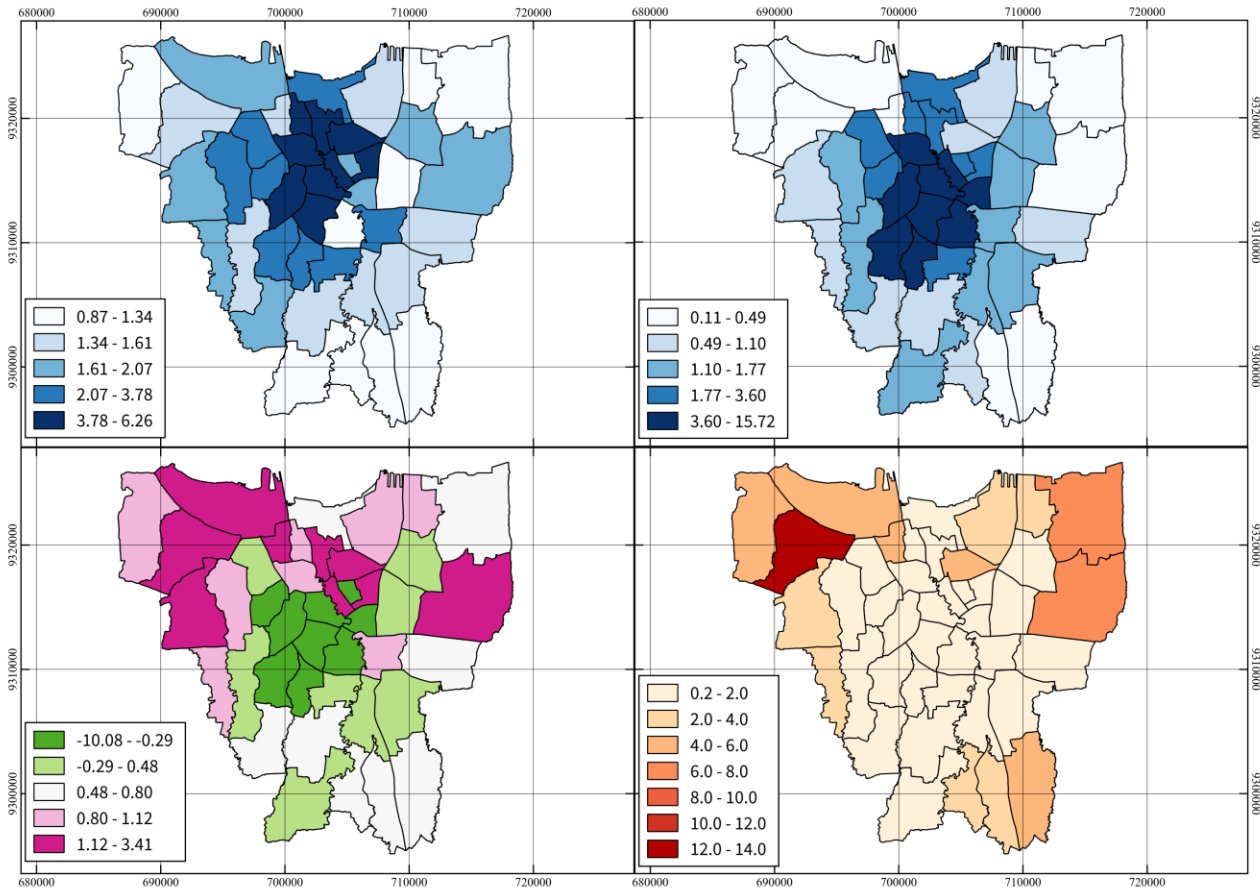
Pengembangan Model

Model ini merupakan pengembangan dari beberapa model NetLogo yang sudah ada sebelumnya. Model ini dikembangkan dari model *Traffic Basic* (Wilensky, 1997) dan *GIS General Example* yang terdapat dalam *Model Library* aplikasi NetLogo. Kedua model tersebut adalah model dasar yang mekanisme-mekanisme algoritma kunci pada model ini. Model *Traffic Basic* adalah model yang mendemonstrasikan pergerakan kendaraan di jalan bebas hambatan. Model ini menunjukkan bahwa kemacetan bisa terjadi bahkan hanya dengan pergerakan lurus bebas hambatan, tanpa adanya hal-hal yang umum dianggap orang menyebabkan kemacetan (semisal kecelakaan, perbaikan jalan dan lainnya). Kendaraan bergerak menyesuaikan kecepatan kendaraan yang ada didepannya. Apabila jalan di depan kosong, kendaraan akan meningkatkan kecepatan. Apabila jalan terdapat mobil di depan, kendaraan akan menurunkan kecepatan. Mekanisme pergerakan model yang dibuat pada penelitian ini merupakan mekanisme yang sama dengan model *Traffic Basic*. Model *Traffic Basic* menggunakan *patch* sebagai representasi jalan secara sederhana. Berbeda dengan model penelitian ini yang lebih rumit menggunakan *node* dan *links*. Sedangkan Model *GIS General Example* adalah model yang mendemonstrasikan cara penggunaan shapefile GIS pada aplikasi NetLogo. Pada model pergerakan penduduk ini, shapefile GIS digunakan sebagai lingkungan agen.

Terdapat model dari peneliti lain yang mempelajari struktur ruang semisual Lemoy, Raux dan Jensen (2016) yang mempelajari struktur ruang dari aktivitas ekonomi penduduk kota. Model mereka menggunakan lokasi abstrak (tidak menggunakan lokasi sebenarnya) dan tidak ada pergerakan agen pada jaringan jalan. Sampai laporan ini ditulis, belum ada model NetLogo serupa yang mengembangkannya

sebagaimana model pada penelitian ini. Sudah ada beberapa pengguna dan ada beberapa diskusi di forum NetLogo tentang pembuatan model serupa. Tetapi publikasi ilmiah, source code model atau postingan pada website modellingcommons.org (situs resmi penyebaran model NetLogo) mengenai hasil pembicaraan di forum tersebut tidak ditemukan.

Gambar 3. Peta Hasil Permodelan dan Validasinya (Analisis, 2017)



Model ini masih memiliki beberapa kelemahan. Kota diasumsikan merupakan *closed city*, yaitu kota yang memiliki jumlah penduduk tetap dan tidak ada interaksi dengan wilayah sekitar. Asumsi ini sebenarnya tidak tepat untuk diterapkan pada DKI Jakarta, mengingat tingginya pergerakan komuter dari wilayah sekitar. Namun untuk asumsi ini tetap digunakan mempermudah proses permodelan, keterbatasan kapasitas komputasi dan fokus pada pembuatan model yang sederhana. Pada pengembangannya, asumsi ini bisa dihapus untuk membuat model yang lebih realistis.

Skala yang digunakan masih terlalu kecil bagi kota sebesar DKI Jakarta. Hal ini membuat banyak dari kesibukan aktivitas warga tidak nampak pada model. Meskipun hal ini tidak berpengaruh terlalu besar terhadap struktur ruang kota secara keseluruhan (dibuktikan dengan validasi twitter), namun dari segi kesesuaian dengan realita hal ini masih sangat minimal. Banyak dari kecamatan yang memiliki dinamika yang cenderung stabil jika ditinjau terhadap kondisi lapangan. Selain itu, pergerakan yang hanya didasarkan atas pembagian fungsi tata guna lahan juga belum menggambarkan dinamika kota secara keseluruhan.

Penelitian ini juga masih belum bisa menggunakan kekuatan permodelan berbasis agen secara maksimal. Belum ada mekanisme *feedback* pada model berbasis agen ini. Mekanisme *feedback* adalah mekanisme timbal balik antara proses tingkat individu (disagregat) dengan fenomena emergen (agregat) yang dihasilkan. Individu agen belajar dari fenomena emergen yang terjadi antar mereka untuk mencapai tujuannya. Model ini hanya mensimulasikan fenomena emergen. Padahal, adanya *feedback* adalah salah satu alasan mengapa permodelan berbasis agen dibandingkan teknik permodelan lain. Hal ini membuat tidak terimplementasinya banyak dari komponen sistem kompleks, semisal heterogenitas, pembelajaran, dan adaptasi.

4. KESIMPULAN

Penelitian ini bertujuan mengembangkan model pergerakan penduduk menggunakan metode permodelan berbasis agen. Wilayah DKI Jakarta digunakan sebagai wilayah studi, pemilihan wilayah ini dikarenakan DKI Jakarta merupakan wilayah yang berperan sangat sentral dalam pembangunan di Indonesia. Selain itu ketersediaan data baik untuk permodelan dan verifikasi (adanya survey komuter dan begitu aktifnya perilaku pengguna media sosial twitter) di DKI Jakarta dibanding wilayah lainnya. Model yang dibuat tidak ditujukan untuk memprediksi, tapi lebih mendeskripsikan dan mengeksplorasi fenomena penggunaan ruang di DKI Jakarta. Model dibuat menggunakan aplikasi dan bahasa pemrograman NetLogo. Model pergerakan penduduk yang dibuat merepresentasikan distribusi kegiatan penduduk dalam satu hari kerja. Kegiatan penduduk diibaratkan denyut nadi sebuah kota. Model ini bisa digunakan untuk mengeksplorasi berbagai skenario sosial yang bermanfaat dalam perumusan rencana tata ruang. Misal dari eksplorasi jam berangkat penduduk atau komposisi pekerjaannya.

Hasil penelitian menunjukkan DKI Jakarta masih merupakan kota monosentris. Kota Administrasi Jakarta Pusat masih menjadi titik sentral kegiatan sebagian besar penduduk. Kecamatan Gambir dan Setiabudi menjadi ruang paling aktif membangun monosentritas DKI Jakarta. Hal ini jika ditinjau sebatas wilayah administrasi DKI Jakarta. Hasil validasi menunjukkan model cukup valid dengan memperbandingkan dengan persebaran *tweet* selama satu hari. Model akan bermanfaat pada intervensi-intervensi yang butuh kecepatan dalam skala waktu harian. Semisal penanganan bencana, pengadaan kegiatan tertentu hingga dampak pengerjaan proyek pembangunan dalam satu hari kerja. Pertanyaan yang bisa dijawab dengan model ini: Berapa jumlah penduduk di suatu lokasi pada jam-jam tertentu? Bagaimana distribusi penduduk dalam satu hari kerja? Bagaimana perkembangannya per satuan waktu?

Penelitian ini memperkuat argumen bahwa teknik permodelan berbasis agen bisa digunakan dalam bidang ilmu perencanaan wilayah dan kota, salah satunya untuk merepresentasikan struktur ruang harian dalam skala kota berdasarkan aktivitas pergerakan penduduk. Hal ini juga menunjukkan bahwa antara sistem kompleks (*complexity science*, dalam penelitian ini adalah permodelan berbasis agen) dan *big data* mampu saling membantu perkembangan satu sama lain. Validasi menggunakan twitter merupakan metode baru, belum banyak penelitian yang melakukannya.

Model ini masih memiliki beberapa kelemahan. Diantaranya belum maksimal dalam memanfaatkan potensi metode permodelan berbasis agen. Lalu representasi spasial masih terlalu sederhana, hanya menggunakan tata guna lahan. Karakteristik penduduk juga tidak dibuat secara maksimal, hanya menggunakan data mata pencaharian penduduk itupun tidak secara disagregat diaplikasikan pada agen. Penanganan kedepannya, karena model hanya dapat digunakan sebatas kepentingan edukasi, perlu pengembangan lebih lanjut jika ingin memecahkan permasalahan kemacetan di DKI Jakarta. Karena masalah kemacetan adalah masalah multidimensi, dan model ini hanya berusaha mencakup sebagian dari dimensi-dimensi yang ada dan meringkasnya.

5. UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis menyampaikan sebesar-besarnya terima kasih kepada berbagai pihak yang membantu terselesaikannya tugas akhir ini terutama kepada kedua orang tua atas segala dukungannya baik materil maupun non-materil, Bapak dosen pembimbing Prof. Dr. rer. nat. Imam Buchori, ST, Bapak Anang Wahyu Sejati, ST. MT selaku penguji sidang tugas akhir, dan Segenap sivitas akademika DPWK Universitas Diponegoro.

6. REFERENSI

- Balci, O. (1997). Verification, Validation and Accreditation of simulation models. Proceedings of the 1997 Winter Simulation Conference, 135–141. <http://doi.org/10.1109/WSC.2000.899697>
- Balci, O. (2010). Golden Rules of Verification, Validation, Testing, and Certification of Modeling and Simulation Applications. *SCS M&S Magazine*, 1(4), 7.
- Batty, M. (1976). *Urban Modelling*. Cambridge: Cambridge University Press.
- Batty, M. (2009). Chapter XXX: Urban Modelling. *International Encyclopedia of Human Geography*, 19(6), 1–18. Retrieved from <http://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/download?doi=10.1.1.145.5025>
- Beheshti, R., & Sukthakar, G. (2012). Extracting Agent-Based Models of Human Transportation Patterns. In *2012 International Conference on Social Informatics* (pp. 157–164). <http://doi.org/10.1109/SocialInformatics.2012.60>

- Behnisch, M., & Ultsch, A. (2015). Computational Approaches for Urban Environments. *Computational Approaches for Urban Environments*, (September), 49–75. <http://doi.org/10.1007/978-3-319-11469-9>
- Christaller, Walter (1933): *Die zentralen Orte in Süddeutschland*. Gustav Fischer, Jena.
- Couclelis, H. (2001). Why I no longer work with agents: a challenge for ABMs of human-environment interaction. In D. Parker, T. Berger, and St. Manson (Eds.) *Agent-based models of land-use and land-cover change*. LUCC Report Series No.6, 3-5
- Doran, D., & Fox, A. (2015). Operationalizing Central Place Theory and Central Flow Theory with mobile phone data. *PeerJ PrePrints*. <http://doi.org/10.7287/peerj.preprints.1342v1>
- Doscher, C., Moore, K., Smallman, C., Wilson, J., & Simmons, D. (2011). *An Agent-Based Model of Tourist Movements in New Zealand: Implications for Spatial Yield*, (December), 12–16.
- Epstein, J. M. (1999), Agent-based computational models and generative social science. *Complexity*, 4: 41–60. doi:10.1002/(SICI)1099-0526(199905/06)4:5<41::AID-CPLX9>3.0.CO;2-F
- Epstein, Joshua M. (2008). 'Why Model?'. *Journal of Artificial Societies and Social Simulation* 11(4)12 <<http://jasss.soc.surrey.ac.uk/11/4/12.html>>.
- Gambardella, L. M., Rizzoli, a. E., & Funk, P. (2002). Agent-based Planning and Simulation of Combined Rail/Road Transport. *Simulation*, 78(5), 293–303. <http://doi.org/10.1177/0037549702078005551>
- Grau, J. M. S., & Romeu, M. A. E. (2015). Agent Based Modelling for Simulating Taxi Services *Procedia Computer Science*, 52, 902–907. <http://doi.org/10.1016/j.procs.2015.05.162>
- Grimm, V. dkk. (2006). A standard protocol for describing individual-based and agent-based models. *Ecological modelling*, 198(1), 115-126.
- Grimm, V., Berger, U., De Angelis, D. L., Polhill, J. G., Giske, J., & Railsback, S. F. (2010). The ODD protocol: A review and first update. *Ecological Modelling*, 221(23), 2760–2768. <http://doi.org/10.1016/j.ecolmodel.2010.08.019>
- Heppenstall, A., Malleson, N., & Crooks, A. (2016). “Space, the Final Frontier”: How Good are Agent-Based Models at Simulating Individuals and Space in Cities? *Systems*, 4(1), 9. <http://doi.org/10.3390/systems4010009>
- Huynh, N., Cao, V., & Wickramasuriya, R. (2014). An Agent Based Model for the Simulation of Road Traffic and Transport Demand in A Sydney Metropolitan Area. 8th *International Workshop on Agents in Traffic and Transportation (ATT-2014)*, 1–7. Retrieved from http://agents.fel.cvut.cz/att2014/att2014_paper_8.pdf
- Jacobs, J. (1961). *The Death and Life of Great American Cities*.
- Kikuchi, S., Rhee, J., & Teodorović, D. (2002). Applicability of an agent-based modeling concept to modeling of transportation phenomena. *Yugoslav Journal of Operations Research*, 12(2), 141–156. <http://doi.org/10.2298/YJOR0202141K>
- Leetaru dkk. (2013). Mapping the Global Twitter Heartbeat: The Geography of Twitter. *First Monday*. 18(5-6). doi:10.5210/fm.v18i5.4366
- Lemoy, R., Raux, C., Jensen, P. (2016). Exploring the polycentric city with multi-worker households: an agent-based microeconomic model. *Computers, Environment and Urban Systems*, Elsevier.
- Losch, A. (1954). *Economics of location*.
- Müller, B. dkk. (2013). Describing human decisions in agent-based models—ODD+D, an extension of the ODD protocol. *Environmental Modelling & Software*, 48, 37-48.
- Neuhaus, F. (2013). *Urban Rhythms: Habitus and emergent spatio-temporal dimensions of the city*. Doctoral thesis, UCL (University College London). University College London, London.
- Peraturan Daerah Provinsi Daerah Khusus Ibukota Jakarta Nomor 1 Tahun 2012 Tentang Rencana Tata Ruang Wilayah 2030
- Taylor, P. J., Hoyler, M., & Verbruggen, R. (2010). External Urban Relational Process: Introducing Central Flow Theory to Complement Central Place Theory. *Urban Studies*, 47 (November 2010), 2803–2818. <http://doi.org/10.1177/0042098010377367>
- Undang-Undang No.26/2007 tentang Penataan Ruang, 107. diambil dari <http://www.bnppb.go.id/uploads/pubs/2.pdf>
- Wahyudi, A., Liu, Y., & Corcoran, J. (2015). *Modelling the spatial decisions of private developers: A case study of Jakarta Metropolitan Area*, Indonesia, 1–18.

- Wilensky, U. (1997). NetLogo Traffic Basic model. <http://ccl.northwestern.edu/netlogo/models/TrafficBasic>. Center for Connected Learning and Computer-Based Modeling, Northwestern University, Evanston, IL.
- Wilensky, U. (1999). NetLogo. <http://ccl.northwestern.edu/netlogo/>. Center for Connected Learning and Computer-Based Modeling, Northwestern University, Evanston, IL.
- Wise, S., Crooks, A., & Batty, M. (2016). Transportation in agent-based urban modelling. *In International Workshop on Agent Based Modelling of Urban Systems* (pp. 129-148). Springer, Cham.