

STUDI TENTANG PEMODELAN LALU LINTAS HETEROGEN

Rina Mardiaty

Abstrak

Salah satu permasalahan utama di sebuah negara berkembang adalah kemacetan yang sering terjadi di kota-kota besar. Kemacetan ini berdampak terhadap polusi yang dihasilkan, pemborosan bahan bakar, penurunan produktivitas manusia, waktu tempuh perjalanan yang tidak pasti dan sampai kepada masih tingginya tingkat kecelakaan yang terjadi. Penyebab dari permasalahan ini bervariasi, bukan saja dikarenakan oleh perilaku pengendara atau pengguna jalan rayanya, akan tetapi perencanaan arus lalu lintas pun menjadi salah satu faktor penting yang mempengaruhinya. Oleh karena itu, model simulasi lalu lintas merupakan sebuah pendekatan yang efektif untuk menganalisis operasi lalu lintas karena bisa menghasilkan output yang relatif mendekati kondisi nyata. Pada awalnya pemodelan lalu lintas dikembangkan dengan mengasumsikan kendaraan yang dimodelkan sama atau hanya memiliki sedikit perbedaan, akan tetapi model seperti itu tidak dapat diterapkan di Indonesia dikarenakan karakteristik lalu lintas lalu Indonesia yang heterogen. Makalah ini akan fokus membahas mengenai pemodelan lalu lintas heterogen yang akhir-akhir ini mulai banyak dikembangkan khususnya di beberapa Negara berkembang di Asia yang memiliki karakteristik lalu lintas mirip dengan Indonesia. Dari model-model yang sudah ada, dilakukan review mengenai model dan metode yang digunakan, kelebihan serta kekurangannya. Sehingga pada bagian terakhir paper ini dapat ditunjukkan kontribusi peluang penelitian yang dapat dilakukan pada area pemodelan lalu lintas heterogen khususnya dengan kasus lalu lintas di Indonesia.

Kata-kata kunci: pemodelan arus, lalu lintas heterogen.

Pendahuluan

Seiring dengan meningkatnya volume kendaraan saat ini, masalah transportasi masih menjadi masalah utama dalam sebuah negara khususnya negara berkembang. Permasalahan pada transportasi ini berdampak ke banyak sektor, dari kemacetan yang membuat waktu perjalanan lebih lama sampai ke masalah polusi yang dihasilkan. Selain dari itu, permasalahan yang terpenting adalah menyangkut pada jiwa manusia dimana tingkat kecelakaan lalu lintas harus diminimalisasi setiap tahunnya. Permasalahan ini bukan hanya dikarenakan oleh perilaku pengendara atau pengguna jalannya saja, akan tetapi perencanaan arus lalu lintas pun menjadi salah satu faktor yang mempengaruhinya [11].

Sebelum menentukan solusi dari permasalahan lalu lintas yang ada diperlukan sebuah usaha untuk memahami sistem lalu lintas yang

sedang berjalan. Observasi langsung dapat dilakukan, akan tetapi dengan melakukan observasi langsung ke lapangan dipandang kurang praktis dari segi waktu, biaya, sumber daya manusia, dan lain-lain. Oleh karena itu, model simulasi lalu lintas merupakan sebuah pendekatan yang efektif untuk menganalisis operasi lalu lintas karena bisa menghasilkan output yang relatif mendekati kondisi nyata.

Teori mengenai pemodelan arus lalu lintas sudah ada sejak tahun 1940an, dimana teori-teori ini memiliki tujuan: (1) membuat model abstraksi arus lalu lintas dengan sederhana dan efisien dan (2) membuat *framework* kesatuan yang dapat memodelkan arus lalu lintas kendaraan yang saling berhubungan satu sama lain [14]. Pada awalnya pemodelan lalu lintas dikembangkan dengan mengasumsikan kendaraan yang dimodelkan sama atau hanya memiliki sedikit perbedaan (dari segi bentuk, ukuran, kecepatan maksimum, jarak

aman yang diinginkan, dll). Pemodelan lalu lintas seperti ini disebut sebagai lalu lintas homogen. Pemodelan lalu lintas homogen ini sudah banyak dikembangkan di Negara barat dengan berbagai metode dan pendekatan. Akan tetapi model lalu lintas homogen seperti ini tidak bisa diterapkan pada kondisi lalu lintas di Indonesia, dikarenakan sebagian besar lalu lintas di Indonesia memiliki karakteristik lalu lintas heterogen.

Pengembangan lalu lintas heterogen saat ini mulai dibidik dan dirasakan perlu dimodelkan terkait dengan banyak Negara berkembang yang sebagian besar karakteristik lalu lintasnya heterogen. Salah satunya adalah Negara China, yang pada awal tahun 1990an mulai mengembangkan pemodelan lalu lintas heterogen. Pemodelan lalu lintas heterogen merupakan kajian yang menarik dan memiliki tantangan yang cukup tinggi dikarenakan termasuk sebuah sistem kompleks dimana setiap

jenis kendaraannya memiliki perilaku yang khas dan *unpredictable* yang mengakibatkan arus lalu lintasnya menjadi berbeda dan unik. Di Indonesia, penelitian mengenai pemodelan lalu lintas heterogen masih tergolong sedikit. Oleh karena itu, perlu dilakukan sebuah studi literatur tentang pemodelan lalu lintas heterogen yang sudah ada.

Pada paper ini dibagi menjadi empat bagian, bagian pertama berisi pemaparan latar belakang, selanjutnya pada bab 2, akan dipaparkan sekilas definisi dan pemahaman mengenai lalu lintas heterogen. Bab 3 akan membahas pemodelan lalu lintas heterogen yang sudah ada, mencakup pembahasan metode, pendekatan, serta dilakukan analisis kelebihan dan kekurangan dari model yang sudah ada di bab 4. Pada bab terakhir akan disimpulkan hasil analisis dari bab sebelumnya dikaitkan dengan kondisi lalu lintas di Indonesia. Selain dari itu, pada bagian terakhir juga akan dipaparkan peluang-peluang

penelitian yang dapat dilakukan untuk memodelkan lalu lintas di Indonesia.

Pemodelan arus lalu lintas dapat dibedakan berdasarkan beberapa kriteria berikut [1].

1. Skala dari variable bebas (kontinu, diskrit, semi-diskrit);
2. Tingkat kedetailan (submikroskopik, mikroskopik, mesoskopik, makroskopik);
3. Proses yang dihasilkan (deterministik, stokastik);
4. Penerapannya (analitik, simulasi);
5. Ruang lingkup aplikasi.

Pada makalah ini akan memaparkan penjelasan pemodelan arus berdasarkan tingkat kedetailannya saja, yaitu mikroskopik, mesoskopik dan makroskopik.

Pemodelan arus lalu lintas secara matematis akan memerlukan parameter atau variabel-variabel yang akan digunakan. Variabel yang akan digunakan akan terdiri dari variabel bebas (yang tidak tergantung dengan

variabel lain) dan variabel terikat (yang tergantung dengan variabel lain). Secara umum pada pemodelan arus menggunakan variabel bebas terdiri dari variable waktu dan ruang, sedangkan untuk variabel terikat akan terdiri dari kepadatan dan kecepatan [7].

TABEL I. VARIABEL UMUM PADA PEMODELAN ARUS

Variabel Bebas	
t	variable waktu yang diperoleh dari merujuk ke <i>critical time</i> T_c . $T_c = \frac{l}{V_{cr}}$
x	variabel ruang. $x = \frac{realspace}{l}$
Variabel Terikat	
ρ	kepadatan maksimum <i>bumper-to-bumper traffic jam</i> .
v	kecepatan maksimum rata-rata yang dapat dicapai oleh kendaraan pada saat <i>free flow conditions</i> .

TABEL II. VARIABEL PADA SKALA MAKRO DAN MIKRO^[7]

Mikroskopik	Makroskopi k
Posisi setiap vehicle ke- i pada saat t : $x_i = x_i(t) \quad x_i \in [0,1]$	Pada dasarnya, nilai-nilai variabel pada makroskopik dapat di peroleh dr domain space tertentu pada selang waktu tertentu.
Kecepatannya $v_i = v_i(t) \quad v_i \in [0,1 +$	Bisa diperoleh kepadatan (<i>density</i>) ρ dengan jumlah vehicle $n(t;x)$ pada waktu t pada track $[x - \Delta, x + \Delta]$: $\rho(t;x) \cong \frac{1}{2\Delta} \frac{n(t;x)}{n_N}$
Untuk multilane R jalur,tinggal ditambah superscript r , x_i^r dan v_i^r	Mass (<i>mean</i>) velocity: $\xi(t;x) \cong \frac{1}{\rho(t;x)} \sum_{i=1}^{n(t;x)} v_i(t;x)$

	<i>Flow</i> (q) bisa dicari menggunakan: $q = q(t,x) = \rho(t,x) \xi(t;x)$
--	---

TABEL III. VARIABEL PADA SKALA MESO^[7]

Kinetic Theory
Pada kinetic theory ini, setiap lane digambarkan berdasarkan distribusi statistic dari posisi dan kecepatan setiap vehicles.
Distribusinya: $f = f(t, x, v) : \mathbb{R}_+ \times [0,1] \times [0,1] \rightarrow \mathbb{R}_+$ Dimana $f(t, x, v) dx dv$ adalah jumlah vehicle pada saat t pada fase $[x, x + dx] \times [v, v + dv]$
Density: $\rho(t,x) = \int_0^{1+\mu} f(t,x,v) dv$ Total jumlah vehicle saat t : $N(t) = \int_0^1 \int_0^{1+\mu} f(t,x,v) dv dx$
Mean (<i>mass</i>) velocity: $\xi(t;x) = \frac{q(t,x)}{\rho(t,x)} = \frac{1}{\rho(t,x)} \int_0^{1+\mu} v f(t,x,v) dv$ Speed Varians:

$$\sigma(t, x) = \frac{1}{\rho(t, x)} \int_0^{1+\mu} [v - \xi(t, x)]^2 f(t, x, v) dv$$

Sebenarnya, dari ketiga model yang ada (mikro, meso dan makro) tidak dapat ditentukan mana yang paling baik, karena masing-masing model ini memiliki kelebihan dan kekurangannya sendiri disesuaikan dengan tujuan awal dari simulasi yang ingin dicapai.

Pemilihan skala untuk memodelkan arus bukan persoalan yang sederhana, banyak faktor yang mempengaruhi. Ed Manley pada papernya mengatakan beberapa faktor yang perlu dipertimbangkan ketika akan menentukan skala yang dipakai untuk mensimulasikan arus lalu lintas^[4] :

1. Ketersediaan *resource*, apakah resource yang kita miliki sudah cukup untuk membuat simulasi pada skala yang diinginkan, contohnya

adalah pada skala mikroskopik diperlukan data yang cukup untuk bisa menentukan parameter-parameter yang akan diinputkan kedalam model. Selain dari itu, untuk membangun model mikro diperlukan teknologi komputer dengan spesifikasi yang tinggi agar mampu melakukan komputasi yang kompleks secara *real-time*.

2. Ruang lingkup area pemodelan, apakah akan dimodelkan pada skala besar atau kecil. Karena perlu diketahui untuk memodelkan mikroskopik pada skala besar akan kurang optimal, dikarenakan proses komputasinya pun memerlukan waktu yang lebih lama. Sedangkan untuk makro dapat diaplikasikan dalam skala
 3. besar, karena proses komputasinya pun tidak begitu kompleks seperti mikro.
 4. Faktor lainnya.

TABEL IV. PERBEDAAN
PEMODELAN ARUS BERDASARKAN
SKALA^[4]

	Skala dari Simulasi		
	Macroscopic	Mesoscopic	Microscopic
Unit yang disimulasikan	Arus lalu lintas	Arus lalu lintas dengan interaksi kendaraan-nya.	Perilaku setiap individu dan simulasi rute.
Teori fundamental	Fisika, Matematika	Fisika, Matematika	Studi Kognitif, fisika dan kecerdasan buatan.
Volume data yang diinput	Rendah	Sedang	Tinggi
Komputasi yang dibutuhkan	Rendah	Sedang	Secara umum, lebih tinggi diantara dua skala yang lain.
Perilaku Stokastik	Jarang	Tergantung dari model yang dibuat	Biasanya menggunakan stokastik
Model Aplikasi			
Multi-agent dan interaksi objek	Sedang/Kurang	Sedang	Kuat
Reaksi terhadap	Kurang	Sedang	Kuat

perubahan kondisi arus			
-------------------------------	--	--	--

Tetapi, untuk tujuan menghasilkan simulasi yang lebih realistis, pemodelan skala mikroskopik adalah pilihan yang tepat untuk memodelkan arus lalu lintas dikarenakan model ini memodelkan perilaku setiap pergerakan kendaraan secara detail^[4].

Arus Lalu Lintas Heterogen

Lalu lintas heterogen adalah lalu lintas yang memiliki komposisi pengguna jalan raya yang terdiri dari kendaraan bermotor, non-kendaraan bermotor dan pejalan kaki [3][4]. Arus lalu lintas heterogen dapat diartikan sebagai sebuah kondisi sistem arus lalu lintas terdiri dari berbagai jenis dan ukuran kendaraan yang menempati sebuah ruas jalan. Oketch pada papernya mendefinisikan jenis kendaraan yang berada pada sistem lalu lintas menjadi dua kategori utama:

1. *Standard vehicle*, yaitu jenis kendaraan-kendaraan konvensional seperti mobil pribadi, mobil angkutan umum, minibus, bus, dan truk yang biasanya menunjukkan perilaku normal yang biasa dianalisis oleh pemodelan yang sudah ada;
2. *Non-standard vehicle*, yaitu jenis kendaraan yang menunjukkan perilaku yang khas seperti motor, *scooter*, sepeda, dan turunan-turunannya. Turunan-turunannya ini datang dari berbagai ukuran, bentuk sampai ke nama jenis kendaraannya, tergantung asal negaranya, misalnya becak, tuk-tuk, bemo, bajai, dll. Kehadiran *non-standard vehicle* ini biasanya menampilkan perilaku yang tidak biasa dan memiliki manuver-manuver yang lebih lincah dibandingkan dengan pergerakan *standard-vehicle*. Hal ini biasanya berpengaruh kepada penurunan

kecepatan rata-rata kendaraan dan penurunan kapasitas jalan [2].

Pergerakan kendaraan pada lalu lintas mencakup dua hal penting yaitu pergerakan longitudinal dan pergerakan lateral. Pergerakan longitudinal mencakup teori *car-following* yang intinya adalah untuk menjaga jarak aman terhadap kendaraan yang ada di depannya. Sedangkan pergerakan lateral yang mencakup model *lane-changing* yang dilakukan untuk beberapa tujuan tertentu seperti menyusul kendaraan yang lebih lambat, menghindari rintangan dan meningkatkan kecepatan.

Penelitian *car-following* dan *lane-changing* sudah dikembangkan dan dianalisis sejak limapuluh tahun yang lalu untuk kondisi lalu lintas homogen. Namun, pada lalu lintas heterogen, kedua teori ini sulit diterapkan karena pada lalu lintas heterogen ini, *car-following* dan *lane-changing model* akan diproses berdasarkan kondisi dan jenis kendaraan yang ada di depannya,

dimana perilaku tiap jenis kendaraan berbeda-beda.

Model Arus Lalu Lintas Heterogen

Pemodelan lalu lintas heterogen pada awalnya dikembangkan menggunakan model matematika. Oketch pada penelitiannya mencoba melakukan analisis karakteristik lalu lintas heterogen yang mencakup non-kendaraan bermotor [2]. Oketch juga melakukan pemodelan pergerakan lateral dari setiap kendaraan pada lalu lintas heterogen yang berbasis pemodelan matematis. Dari penelitian ini diperoleh beberapa kesimpulan, diantaranya adalah 1) terdapat faktor luar yang yang mempengaruhi arus lalu lintas heterogen yaitu jarak terhadap tujuan dan waktu yang diinginkan pengemudi untuk mencapai tujuan; 2) pada lalu lintas heterogen sepeda dan sepeda motor memiliki performa yang lebih baik dibanding kendaraan yang lain, dikarenakan dengan mudah

mengadaptasi percepatan dan kecepatan; 3) akan tetapi karakteristik lalu lintas heterogen ini memiliki peluang terjadinya kecelakaan lebih tinggi dibanding dengan lalu lintas homogen; dan 4) perilaku-perilaku yang muncul akan sulit diprediksi.

Pergerakan kendaraan pada lalu lintas, biasanya akan sangat erat hubungannya dengan teori *car-following* seperti yang disebutkan di bab 2. Kondisi lalu lintas heterogen akan sulit untuk menerapkan teori *car following* dikarenakan pergerakan dari *non-standard vehicle* dan pejalan kaki akan sangat berbeda dengan *standard vehicle* [3][15]. Oleh karena itu, Wang pada papernya membangun sebuah model berbasis pemodelan matematis menggunakan vektor untuk menggambarkan pergerakan dari *non-standard vehicle*. Pada penelitian ini, Wang menggambarkan kecepatan dan percepatan menggunakan vektor dimana proses pengambilan keputusannya

ditentukan berdasarkan kondisi lalu lintas yang ada pada saat itu dan dipengaruhi juga oleh pergerakan objek lain yang ada di sekitar kendaraan tersebut.

Pemodelan lalu lintas heterogen juga tidak bisa mengabaikan keberadaan pejalan kaki. Di China, kondisi lalu lintasnya didominasi oleh kendaraan bermotor, sepeda dan juga pejalan kaki khususnya di persimpangan. Biasanya, persimpangan yang ada di China memiliki kepadatan yang cukup tinggi khususnya pada jam-jam tertentu. Hal ini, menarik seorang peneliti di China untuk menganalisis perilaku pejalan kaki di persimpangan pada kondisi lalu lintas heterogen [2]. Pada penelitian ini, Zhao [2] memodelkan perilaku pejalan kaki menggunakan sekumpulan aturan-aturan disertai model matematisnya. Selain pejalan kaki, pengendara sepeda di China juga cukup mendominasi, Huang [6] pada papernya mencoba

memodelkan perilaku sepeda di persimpangan menggunakan fuzzy logic.

Pada awal tahun 2000an pemodelan lalu lintas heterogen mulai dikembangkan menggunakan pendekatan sel automata. Para peneliti yang mengembangkan metode ini yakin bahwa pemodelan lalu lintas berbasis sel automata memiliki kemampuan untuk menggambarkan sistem lalu lintas yang dinamis dan kompleks. Hal ini dikarenakan sel automata memiliki beberapa keunggulan: 1) algoritmanya sederhana; 2) mudah dilakukan modifikasi terhadap parameter-parameternya sesuai dengan kondisi lalu lintas yang diinginkan; 3) algoritma ini juga cocok untuk simulasi komputer berskala besar [5].

Sebelumnya, pemodelan berbasis sel automata biasanya digunakan untuk memodelkan interaksi antar sesama kendaraan atau antar sesama pejalan kaki. Yi [5] pada penelitiannya mencoba memodelkan interaksi antara

kendaraan dengan pejalan kaki di zebracross berbasis sel automata. Penelitian ini juga memiliki tujuan akhir apakah ada pengaruh dari interaksi yang terjadi terhadap arus lalu lintas heterogen pada sistem satu lajur. Selain dari itu, Thanh [9] juga mengembangkan simulasi lalu lintas heterogen berbasis sel automata untuk memodelkan interaksi antar kendaraan menggunakan seperangkat aturan-aturan. Pada penelitian ini, pemodelannya dilakukan pada kondisi lalu lintas yang didominasi oleh kendaraan bermotor roda dua.

Pemodelan lalu lintas heterogen berbasis sel automata juga dikembangkan oleh Ding [7] yang memodelkan pada sistem lalu lintas dua lajur. Algoritma sel otomata yang diusulkan pada penelitian ini merupakan pengembangan dari algoritma sel automata yang sudah ada sebelumnya. Pemodelan lalu lintas heterogen ini sangat berkembang di China, khususnya

untuk memodelkan lalu lintas di kota Beijing.

Huixin [12] pada penelitiannya juga mengembangkan sebuah model arus lalu lintas heterogen pada persimpangan di kota Beijing menggunakan sel automata. Pada papernya Huixin memodelkan arus lalu lintas pejalan kaki, kendaraan bermotor dan non-kendaraan bermotor. Selain dari itu dikembangkan sebuah model perilaku untuk menghindari halangan (*avoidance model*) yang ada untuk pejalan kaki, kendaraan bermotor dan non kendaraan bermotor.

Di Indonesia, penelitian mengenai pemodelan lalu lintas heterogen ini mulai berkembang tahun 2013. Yulianto [1] pada penelitiannya mencoba memodelkan lalu lintas heterogen di kota Solo menggunakan *software* simulasi lalu lintas, VISSIM v.3.6. Pada penelitian ini memiliki tujuan mengadaptasikan model komersial untuk mensimulasikan model lalu lintas

di Indonesia dan hasil simulasinya divalidasikan dengan kondisi nyata di lapangan. Selain dari itu, di Indonesia, ada beberapa penelitian yang mengkaji mengenai pemodelan simulasi lalu lintas heterogen. Beberapa penelitian [21][22] meneliti mengenai karakteristik lalu lintas dengan komposisi kendaraan campuran pada skala makroskopik. Simulasinya dianalisis berdasarkan model Greenshield, Underwood dan Greenberg.

Lee [23] pada papernya memperlihatkan sebuah studi mengenai perilaku dari sepeda dan sepeda motor pada sebuah persimpangan berbasis BP *neural network*. Penelitian Lee memodelkan lalu lintas heterogen yang menjadi karakteristik lalu lintas pada negara China, khususnya di sebuah pertemuan simpang jalan. Campuran antara sepeda dan motor pada saat yang bersamaan dengan arah tujuan yang berbeda-beda memang menjadi ciri khas dari dari persimpangan di perkotaan,

yang mengakibatkan penurunan kapasitas dari persimpangan. Lee mencoba mengembangkan simulasi mikroskopik sebagai alat yang dapat menggambarkan perilaku dari sepeda dan sepeda motor dalam pengambilan keputusan, desain dan analisis operasi lalu lintas. Penelitian ini membahas mengenai kondisi lalu lintas campuran yang fokus pada masalah dari adanya kehadiran sepeda dan membangun model yang dapat menentukan kendaraan motor untuk melakukan *crossing* menggunakan *neural network*. Penelitian yang dikembangkan Lee juga mencoba membangun model perilaku motor menggunakan teori *gap acceptance* menggunakan probabilitas dan model *discrete choice logic model* untuk merepresentasikan pengambilan keputusan motor untuk melewati dan probabilitas *gap* yang akan diterima.

Seiring dengan berkembangnya ilmu pengetahuan, pengembangan metode model lalu lintas heterogen berbasis

multi-agent akhir-akhir mulai dilakukan dengan tujuan akhir adalah untuk mencapai hasil yang mendekati kondisi riilnya. Penggunaan *multi-agent* diyakini adalah sebuah teknologi yang cocok untuk memodelkan sistem kompleks seperti sistem lalu lintas heterogen. Selain dari itu, penggunaan model matematika pada sistem kompleks akan kurang optimal untuk mensimulasikan lalu lintas campuran, hal ini diyakini akan memberikan nilai galat yang cukup besar. Wang [3] pada makalahnya mencoba mengembangkan sebuah model lalu lintas heterogen di China berbasis *multi-agent*. Pada model ini kendaraan dan pengemudi dimodelkan menggunakan *agent*. Sehingga, heterogenitas lalu lintas tersebut dibagi menjadi dua model: 1) pemodelan *agent* kendaraan dengan jenis kendaraan dan kecepatan maksimum kendaraan yang berbeda-beda; 2) pemodelan *agent* pengendara menggunakan logika fuzzy sebagai

proses pengambilan keputusan dalam menentukan percepatan. Wang [10] melakukan uji efektifitas dari metode yang dibangun dengan membandingkan hasil simulasi dengan kondisi riil di lapangan. Dan memperoleh hasil yang cukup baik.

Pemodelan mikroskopik berbasis *agent* banyak dilakukan dalam upaya menghasilkan sebuah simulasi yang lebih realistik. Pada penelitiannya, Claes [19] mengembangkan sebuah *framework* yang bisa mensimulasikan populasi kendaraan yang memiliki perilaku pengemudi yang heterogen. *Agent* pada simulasi ini digambarkan sebagai kendaraan yang mampu mengontrol kendaraan serta mampu menentukan rute jalan yang akan dilalui. Penelitian ini berhasil membuat sebuah *platform* yang dinamakan Gridlock yang mudah untuk digunakan, mudah dikembangkan dan fleksibel.

Chen [20] melakukan review terhadap penggunaan teknologi *agent*

pada sistem lalu lintas dan transportasi. Saat ini komputasi berbasis *agent* merupakan teknologi paling *powerfull* dalam pengembangan sebuah sistem kompleks. Konsep *agent* ini sudah banyak digunakan pada aplikasi yang berbeda-beda, misalnya aplikasi manufaktur, sistem kontrol *real-time*, perdagangan elektronik, *network management*, sistem transportasi, manajemen informasi, *scientific computing*, kesehatan, dan dunia hiburan. Alasan utama mengapa teknologi *agent* ini berkembang cukup sukses adalah karena sistem *agent* memiliki sifat otonom dan memungkinkan adanya interaksi antar *agent* dalam upaya mencapai tujuan yang diinginkan. Pada papernya, Chen memaparkan teknologi *agent* yang dipakai dalam pengembangan sistem *Intelligent Transportation System (ITS)* dalam upaya untuk menyelesaikan masalah transportasi. ITS mampu diaplikasikan dalam teknologi komputer,

komunikasi, teknologi sensor dalam upaya mengubah sistem transportasi menjadi sistem lebih teratur dan menjadi sistem yang terintegrasi dengan baik. *Core* atau basis dari ITS adalah informasi, informasi lalu lintas yang tersedia secara *real-time* adalah dasar pengimplementasian ITS yang lebih efisien dan efektif. Salah satu teknologi yang mampu meningkatkan kemampuan komputer terdistribusi dari sistem informasi terpusat adalah teknologi *agent*.

Diskusi

Pemodelan lalu lintas heterogen ini sangat berkembang di China, khususnya untuk memodelkan lalu lintas di kota Beijing. Penelitian yang dilakukan didominasi pemodelan perilaku secara terpisah, seperti pemodelan perilaku sepeda pada persimpangan, perilaku pejalan kaki pada persimpangan atau zebra-cross. Hal ini dikarenakan pemodelan lalu lintas heterogen

memiliki cakupan penelitian yang sangat luas. Berdasarkan pemaparan di bab sebelumnya, metode pendekatan yang digunakan mengalami perkembangan dimulai dari pendekatan menggunakan pemodelan matematis, sel automata sampai ke yang terkini adalah teknologi *multi-agent*.

Perkembangan metode ini tidak lain untuk mencapai sebuah pemodelan dan simulasi yang valid dan memiliki hasil yang benar-benar menyerupai sistem nyatanya. Pemodelan matematis untuk lalu lintas heterogen kurang optimal karena biasanya akan menghasilkan *error* atau yang tinggi pada saat divalidasi dengan kondisi riilnya yang dinamis. Sehingga, untuk mengatasi keterbatasan pemodelan matematik ini dikembangkan pendekatan menggunakan sel automata. Sel automata ini merupakan metode yang cukup bagus untuk memodelkan perilaku dinamis yang ada pada system lalu lintas heterogen. Biasanya

pergerakan dan pengambilang keputusannya dapat dipengaruhi oleh factor internal dan internal dikombinasikan dengan seperangkat aturan yang ada.

Akan tetapi, ternyata pendekatan sel automata masih belum cukup untuk memodelkan lalu lintas heterogen, karena biasanya pada lalu lintas heterogen, perilaku-perilaku yang muncul sangat sulit diprediksi. Teknologi *multi-agent* dianggap menjadi pendekatan yang cocok untuk dapat menggambarkan sistem ini [10]. Pengembangan agent based model pun diteliti oleh Ali[16], dimana untuk memberikan keakuratan pada skenario lalu lintas yang dibuat, maka *tools* yang paling cocok adalah menggunakan *multi-agent system (MAS)*. Pengembangan model ini dilakukan dengan cara mengimplementasikan model lalu lintas berbasis *multi-agent* dengan merubah-ubah parameter yang ada sehingga diperoleh nilai parameter

yang cocok untuk menghasilkan simulasi yang akurat. Pemodelan lalu lintas berbasis multi-agent sudah banyak dilakukan pada kondisi lalu lintas homogen, pada kondisi lalu lintas heterogen baru muncul di pertengahan tahun 2013.

Kesimpulan

Pemodelan lalu lintas heterogen memiliki cakupan penelitian yang sangat luas. Lebih jauh lagi apabila dikaitkan dengan kondisi lalu lintas di Indonesia, pemodelan lalu lintas heterogen masih tergolong sedikit, sehingga masih terbuka peluang-peluang penelitian pada topik tersebut. Berdasarkan studi literatur yang sudah dilakukan kepada model lalu lintas heterogen, ada beberapa isu yang perlu terus dicari solusinya. Yang pertama adalah berkaitan dengan bagaimana mendapatkan model yang memiliki keakuratan dan validitas yang tinggi. Kedua, algoritma atau metode apa yang

digunakan agar pemodelan lalu lintas heterogen yang kompleks ini dapat optimal proses komputasinya sehingga tidak terlalu berat. Dan yang ketiga adalah pemodelan perilaku dari pengendara (dari segi psikologis, usia, jenis kendaraan, dll) sangat penting untuk dimunculkan, karena perilaku pengendara sangat mempengaruhi arus lalu lintas yang terjadi.

References

- [1] Budi Yulianto, Setiono. "Kalibrasi dan Validasi Mixed Traffic VISSIM Model". Media Teknik Sipil. Juli 2013.
- [2] Timothy Oketch, "Modeled Performance Characteristics of Heterogenous Traffic Streams Containing Non-Motorized Vehicles". 2003 Annual Meeting CD-ROM.
- [3] Huadong Wang, Tiejun Wu. "A New United Microscopic Model of Urban Mixed Traffic Flow". Intelligent Transportation Systems 2003. Proceeding 2003. IEEE 2003, Vol.1.

- [4] Jianli Zhao, Jianping Wu. "Analysis of Pedestrian Behavior With Mixed Traffic Flow at Intersection". *Intelligent Transportation Systems 2003. Proceeding 2003. IEEE 2003, Vol.1.*
- [5] Zhang Yi, Duan Houli. "Modeling Mixed Traffic Flow at Crosswalks in Micro-Simulations Using Cellular Automata". *Tsinghua Science and Technology. ISSN 1007-0214 12/14 pp214-222, Vol. 12, Number 2, April 2007.*
- [6] Ling Huang, Jianping Wu. "Fuzzy Logic Based Cyclist' Path Planning Behavioral Model in Mixed Traffic Flow". *Proceedings of the 11th International IEEE Conference on Intelligent Transportation Systems. October 2008.*
- [7] Jian-Xun Ding, Hai-Jun Huang, Qiong Tian. "A Mixed Traffic Model Based on a Modified Cellular Automaton Two-Lane System". *International Joint Conference on Computational Sciences and Optimization. 2009.*
- [8] Yue Li, Huapu Lu, Changzhi Bian, Ya Gang Sui. "Traffic Speed-Flow Model for the Mix Traffic Flow on Beijing Urban Expressway". *International Conference on Measuring Technology and Mechatronics Automation. 2009.*
- [9] Vo Hong Thanh, Tran Van Hoai."Simulation of Mixed Traffic Flow within Intersection". *Second International Conference on Knowledge and Systems Engineering. 2010.*
- [10] Shouren Wang, Zhongjian Dai and Jing He, "A Multi-Agent Simulation of Traffic System under Mixed Traffic Condition". *2013 Third International Conference on Instrumentation, Measurement, Computer, Communication and Control.*
- [11] Nicolla Bellomo and Christian Dogbe. "On the Modeling of Traffic and Crowds: A Survey of Models, Speculations, and Perspectives". *Society for Industrial and Applied Mathematics, vol. 53, No.3 pp. 409-463. 2011.*
- [12] Wu Huixin, Wang Feng and Mo Duo. "Mixed Traffic Flow Simulation at Urban Intersections and Its Application". *Journal of Applied Sciences 13 (18): 3835-3840, 2013.*
- [13] Rina Mardiati, et al. "Review of Microscopic Model for Traffic Flow". *ARPJN Journal of*

- Engineering and Applied Sciences. Vol. 9, No. 10. October 2014.
- [14] Daiheng Ni, "A Unified Perspective on Traffic Flow Theory Part I : The Field Theory," in *Applied Mathematical Sciences*, vol. 7, no. 39, 1929-1946, HIKARI Ltd.
- [15] Tom V. Mathew, K.V.R Ravishankar. "Neural Network Basen Vehicle-Following Model for Mixed Traffic". *European Transport \ Transporti Europei Issue 52*, paper No. 1, ISSN 1825-3997. 2012.
- [16] Ali Bazghandi, Ali A. Pouyan, "An Agent-Based Simulation Model for Urban Traffic System", *Canadian Center of Science and Education*, 2011.
- [17] B Raghuram Kadali, P Vedagiri. "Modeling pedestrian road crossing behaviour uner mixed traffic condition". *European Transport \ Transporti Europei. Paper No.3*, ISSN 1825-3997. 2013.
- [18] Jian-ping Meng, Shi-qiangDai, Li-yun Dong, Jie-fang Zhang. "Cellular automaton model for mixed traffic flow with motorcycles". *Physics A: Statistical Mechanics and Its Applicaations*, Vo. 380, 2007.
- [19] Claes, R. and Holvoet, T. (2011). *Gridlock: A Microscopic Traffic Simulation Platform*. Belgium: Reference: 2nd InternationalConference on Models and Technologies for Intelligent Transportation System.
- [20] Chen, B. and Cheng, H.H. (2010). *A Review of the Applications of Agent Technology In Traffic and Transportation System*. IEEE Transaction on Intelligent Transportation System, Vol.11, No.2.
- [21] Sadili, R. (2011). Analisis Karakteristik Arus Lalu Lintas Campuran dengan Variasi Komposisi Kendaraan Sepeda Motor pada Jalan di Daerah Perkotaan. Tesis Universitas Indonesia.
- [22] Aly, S.H. (2012). Model Hubungan Karakteristik Makro Lalu Lintas yang Bersifat Heterogen di Kota Makassar. Prosiding Teknik Sipil Universitas Hassanudin.
- [23] Lee, S., Qian, D. and Lee, N. (2009). Study on Micro Behavior of Interference between Bicycle and Motor-vehicle at Signalized Intersection Based on BP Neural

Network. Asia-Pasific Conference
on Information Processin