
Jurnal ***Rekayasa Elektrika***

VOLUME 11 NOMOR 2

OKTOBER 2014

**Pemodelan dan Simulasi VANETs Menggunakan Federated Mobility Model;
Sebuah Artikel Tinjauan** 45-53

Afdhal

JRE	Vol. 11	No. 2	Hal 45-78	Banda Aceh, Oktober 2014	ISSN. 1412-4785 e-ISSN. 2252-620X
-----	---------	-------	-----------	-----------------------------	--------------------------------------

Pemodelan dan Simulasi VANETs Menggunakan Federated Mobility Model; Sebuah Artikel Tinjauan

Afdhal

Center for Computational Engineering
Jurusan Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Syiah Kuala
Jl. Tgk. Syech Abdurrauf No.7, Banda Aceh 23111
e-mail: afdhal@unsyiah.ac.id

Abstrak—Munculnya *Vehicular Ad-hoc Networks* (VANETs) sebagai bagian dari pengembangan teknologi *Intelligent Transportation Systems* (ITS) diharapkan menjadi sebuah metode lanjutan untuk memecahkan masalah pada sistem transportasi. VANETs diharapkan dapat menjadi solusi baru untuk strategi manajemen dan rekayasa lalu lintas. Target utamanya adalah tetap memprioritaskan keselamatan dan mencegah terjadinya kecelakaan. Salah satu yang menjadi perhatian sebelum VANETs diterapkan pada dunia nyata adalah kebebasan tingkat mobilitas lalu lintas kendaraan yang dibatasi oleh topologi jaringan jalan. Berbagai pemodelan dan simulasi telah dilakukan untuk menghasilkan model mobilitas lalu lintas yang paling realistis. Namun, hal tersebut menjadi paradigma tersendiri dikarenakan berbagai faktor yang membatasinya. Hadirnya *federated mobility model* sebagai salah satu pendekatan untuk pemodelan dan simulasi dianggap dapat menyajikan suatu model mobilitas lalu lintas yang lebih realistis dan lebih akurat. Oleh karena itu, artikel ini mereview secara singkat dan jelas sejumlah pemodelan mobilitas yang telah digunakan secara luas serta membandingkannya dengan berbagai *federated mobility model* yang telah dikembangkan hingga saat ini. Tujuan artikel ini adalah untuk memfasilitasi pemahaman yang lebih baik tentang sejumlah pemodelan mobilitas lalu lintas untuk pensimulasian VANETs mulai dari proses interaksi hingga integrasi antar perangkat simulasi. Pemahaman tentang berbagai model mobilitas lalu lintas akan melengkapi pengetahuan sehingga memungkinkan dilakukannya suatu pemodelan dan simulasi penerapan aplikasi VANETs yang mendekati kondisi riil.

Kata kunci: *VANETs, mobility model, federated mobility model*

Abstract—The emergence of *Vehicular Ad-hoc Networks* (VANETs) as part of the *Intelligent Transportation Systems* (ITS) technology development was expected to become an advanced method to solve the transportation system problem. The implementation of VANETs is expected to provide a new solution for traffic management strategy. Its main targets is to continue prioritizing traffic safety and to prevent the accidents on the roads. One of the VANETs problems before being implemented in the real world is the degree of freedom of the vehicle's mobility that limited by the road topologies. Various modellings and simulations have been performed to produce the most realistic mobility model. However, those models had become new paradigms due to various factors that limited them. The presence of the federated mobility model as an approach for traffic mobility modeling is considered to be able to provide more realistic and accurate VANETs simulation. Therefore, this article presents some brief reviews and contrast a number of the simulation and mobility models that have been used widely as compared to the federated mobility models that have developed until the present. The article's objective is to facilitate a better understanding of the traffic mobility modeling for the VANETs simulation that started from the interaction process until the integration between simulators. The understanding of the traffic mobility models will complement the knowledge that enable to perform the simulation of the VANETs implementation approaching the real conditions.

Keywords: *VANETs, mobility model, federated mobility model*

I. PENDAHULUAN

Pengembangan teknologi nirkabel untuk sistem jaringan komunikasi telah dikembangkan tidak hanya sebatas pada penggunaannya untuk interaksi dan mobilitas manusia dengan berbagai perangkat elektroniknya. Namun perkembangannya telah diarahkan pada mobilitas manusia dan kendaraan yang digunakannya sehari-hari. Teknologi ini dikembangkan sebagai solusi untuk memecahkan sejumlah permasalahan pada sistem transportasi. Permasalahan pada sistem transportasi saat ini sudah cukup

kompleks, mulai dari kepadatan lalu lintas, kemacetan, hingga meningkatnya jumlah kecelakaan di jalan raya. Jenis teknologi jaringan nirkabel yang dikembangkan untuk menjadi solusi dalam pemecahan sejumlah permasalahan ini adalah *Vehicular Ad-hoc Networks* (VANETs). VANETs merupakan sebuah teknologi jaringan nirkabel yang dikembangkan untuk mendukung pengembangan teknologi *Intelligent Transportation Systems* (ITS). Oleh karena itu, VANETs merupakan bagian yang tidak bisa dipisahkan dari ITS. ITS adalah teknologi yang telah dikembangkan untuk mendukung sistem transportasi yang

ideal bagi masyarakat pengguna jalan raya.

Kemunculan ITS diharapkan menjadi sebuah metode untuk memecahkan masalah transportasi yang menawarkan keselamatan dan keamanan, efektifitas dan efisiensi lalu lintas, meningkatkan kenyamanan berkendara, serta mendukung pelestarian lingkungan. Secara khusus, munculnya teknologi ini diharapkan dapat mengurangi kemacetan lalu lintas dan jumlah kecelakaan yang dapat menyelamatkan ribuan nyawa di jalan raya. Teknologi ITS dapat dijadikan sebagai sebuah metode lanjutan dari sistem transportasi yang dibangun dengan mengintegrasikan manusia, kendaraan dan lingkungan dalam suatu sistem informasi dan komunikasi yang terpadu. Teknologi ini diharapkan mampu membangun suatu sistem infrastruktur transportasi yang nyaman dengan prioritas utamanya adalah peningkatan keselamatan di jalan (*road-safety*).

Sebagai bagian dari pengembangan teknologi ITS, VANETs merupakan teknologi yang tergolong baru. Meskipun kehadiran teknologi ini memunculkan sejumlah pengharapan untuk sistem transportasi yang lebih baik, namun penerapannya masih memerlukan kajian yang lebih mendalam dan lebih intensif. Teknologi ini masih berkembang sebagai sebuah paradigma dan telah menarik banyak minat dunia secara luas mulai dari peneliti, profesional dibidang transportasi, industri otomotif, hingga ke pemerintah. Sebagian besar negara-negara yang terlibat dalam industri otomotif telah memposisikan perkembangan teknologi ini sebagai fokus pengembangan sistem transportasi untuk masa depan. Selain VANETs, teknologi yang mendasari kunci untuk aplikasi ITS juga meliputi sistem satelit, dan jaringan selular. Namun, sistem satelit dan jaringan selular tidak ideal untuk beberapa aplikasi keamanan-kritis (*critical safety application*) karena proses komunikasinya membutuhkan waktu terlalu lama dan memakan biaya yang sangat mahal untuk menutupi pembiayaannya. Di sisi lain, peningkatan teknologi ITS pada domain jaringan kendaraan nirkabel telah menjanjikan banyak kemajuan untuk masa depan pengembangan aplikasi ITS [1].

Sebagai teknologi jaringan kendaraan nirkabel, VANETs diharapkan dapat mengendalikan kemacetan, meningkatkan arus lalu lintas, mengurangi risiko kecelakaan dan memungkinkan pelaksanaan aplikasi internet pada kendaraan. Dengan kata lain, penerapan VANETs harus dapat mengelola arus lalu lintas dan harus siap memberikan solusi baru untuk strategi manajemen dan rekayasa lalu lintas dengan target utamanya tetap memprioritaskan keselamatan lalu lintas yang dapat mencegah tabrakan dan menyelamatkan nyawa manusia. Selain itu, seiring dengan perkembangannya, penerapan VANETs juga ditargetkan pada *adaptive traffic control*, *peer to peer*, *email*, *web surfing*, *online games*, dan berbagai aplikasi lainnya. Untuk mewujudkan hal tersebut, sejumlah peneliti yang didukung oleh industri otomotif dan pemerintah telah melakukan berbagai penelitian. Dalam rangka penerapan teknologi ini, proses pengembangan tidak hanya berfokus pada pemodelan kinerja jaringan saja. Namun, perhatian lainnya agar penerapan teknologi

VANETs dapat diimplementasikan pada dunia nyata adalah pemodelan mobilitas lalu lintas dan kendaraan yang realistis [2]. Pemodelan ini sangat dipengaruhi oleh jumlah dan tingkat mobilitas kendaraan yang sangat tinggi serta sejumlah pembatasan tingkat pergerakan yang dibatasi oleh topologi jaringan jalan, karakteristik, model, perilaku kendaraan dan pengendara, serta berbagai faktor lainnya untuk mendukung pemodelan mobilitas kendaraan yang lebih realistis [3].

Oleh karena itu, berbagai pemodelan dan simulasi dilakukan, baik dengan menggunakan perangkat simulasi yang secara langsung diuji coba dilapangan maupun secara tidak langsung yang dilakukan dengan menggunakan *software simulator tools* (perangkat lunak simulasi). Namun mengingat faktor biaya dan sumberdaya, sejumlah peneliti memiliki kecenderungan untuk merancang pemodelan dan simulasi menggunakan sejumlah *software simulator tools* terlebih dahulu sebelum diuji coba dilapangan. Perangkat lunak simulasi yang digunakan sangat bervariasi dan memiliki fitur yang berbeda-beda, baik komersial maupun *open-source*. Sampai dengan saat ini, berbagai pemodelan dan simulasi telah dilakukan untuk menghasilkan model mobilitas kendaraan yang paling realistis. Namun, hal tersebut telah menjadi paradigma tersendiri bagi sejumlah pemodelan tersebut dikarenakan berbagai parameter yang membatasinya.

Tujuan melibatkan pemodelan mobilitas lalu lintas kendaraan pada simulasi VANETs adalah sangat penting untuk mencerminkan sedekat mungkin dengan karakteristik lalu lintas kendaraan yang ada. Menurut Härrı et al., parameter-parameter yang harus dilibatkan dalam pemodelan mobilitas untuk menghasilkan pola gerak kendaraan yang realistis, meliputi: peta topologi jaringan jalan yang akurat dan realistis, *obstacles*, *attraction/repulsion points*, karakteristik kendaraan, *smooth deceleration and acceleration*, *trip motion*, *path motion*, *human driving pattern*, *intersection movement*, *time pattern* dan pengaruh eksternal lainnya. Berdasarkan survei dan taksonomi pemodelan jaringan kendaraan yang telah dilakukan oleh Härrı et al., terdapat sejumlah model mobilitas yang telah dilakukan. Salah satunya adalah *federated mobility model*. Pemodelan ini merupakan hasil kombinasi dari simulator pembangkit lalu lintas (*traffic generator*) dan simulator jaringan (*network simulator*) sehingga dapat saling memberikan umpan balik (*feedback*) antara satu dan lainnya yang difasilitasi oleh antarmuka komunikasi (*communication interface*) [4]. Hal ini telah membawa perubahan yang mendasar sehingga sistem komunikasi dapat dilakukan dua arah (*bi-directional*) secara bersamaan (*concurrently*). Pembangkit lalu lintas dapat memberikan umpan balik berupa data mobilitas yang sesuai dengan kondisi dan situasi keberadaan kendaraan, sedangkan simulator jaringan dapat memberikan umpan balik berupa data komunikasi. Hadirnya *federated mobility model* sebagai salah satu pendekatan untuk pemodelan dan simulasi dianggap dapat menyajikan suatu model mobilitas lalu lintas yang lebih realistis dan lebih akurat.

Oleh karena itu, artikel ini akan mereview secara

singkat dan jelas sejumlah pemodelan mobilitas lalu lintas dan simulasi penerapan aplikasi teknologi VANETs yang telah digunakan secara luas serta membandingkannya dengan berbagai *federated mobility models* yang telah dikembangkan hingga saat ini. Tujuan artikel ini adalah untuk memfasilitasi pemahaman yang lebih baik tentang sejumlah pemodelan mobilitas lalu lintas untuk pensimulasian pengimplementasian teknologi VANETs mulai dari proses interaksi hingga integrasi antar perangkat simulasi. Pemahaman tentang berbagai model mobilitas lalu lintas akan melengkapi pengetahuan sehingga memungkinkan dilakukannya suatu pemodelan dan simulasi penerapan aplikasi teknologi VANETs yang mendekati kondisi riil.

II. VEHICULAR AD-HOC NETWORK

Istilah yang digunakan untuk mendeskripsikan teknologi jaringan kendaraan nirkabel sangat beragam. Istilah yang paling sering digunakan adalah *Vehicular Ad-Hoc Networks* yang disingkat dengan VANETs. Istilah lainnya yang juga sering digunakan meliputi *Inter-Vehicle Communication (IVC)*, *Car to X (C2X)*, dan *Vehicle to X (V2X)*. Secara mendasar istilah-istilah tersebut dimaksudkan adalah sama untuk mengatasmakan jaringan kendaraan nirkabel [3]. VANETs merupakan suatu jenis teknologi komunikasi nirkabel yang dikhususkan untuk kendaraan yang memungkinkan terjadinya pertukaran komunikasi data antar sesama kendaraan atau kendaraan dengan perangkat infrastruktur jaringan. Tujuan teknologi ini adalah untuk meningkatkan sistem manajemen transportasi sehingga dapat mendukung penerapan aplikasi *Intelligent Transportation System (ITS)* berbasis Teknologi Informasi dan Komunikasi (TIK). Teknologi ini diharapkan dapat mengatasi kepadatan lalu lintas, mengurangi kemacetan dan jumlah kecelakaan yang terjadi di jalan [6].

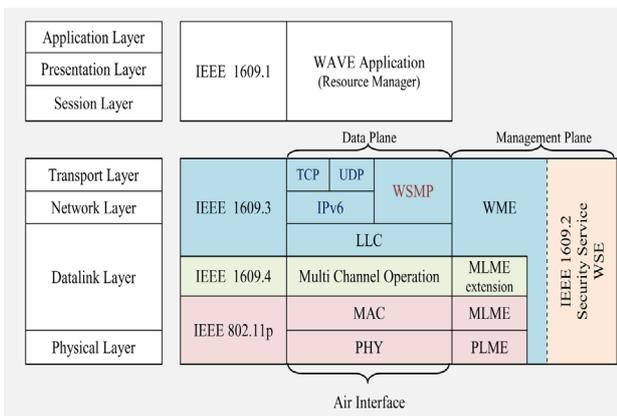
Untuk pengembangan teknologi VANETs, IEEE sebagai induk organisasi profesional yang salah satu tugasnya mengatur regulasi dan standar internasional penggunaan sistem komunikasi menetapkan sejumlah protokol untuk untuk pengoperasian untuk teknologi

tersebut yang dinamakan *Wireless Access in Vehicular Environment (WAVE) standard*. Standar WAVE ditetapkan sebagai pondasi untuk pengembangan dan penerapan teknologi VANETs yang digunakan saat ini dan dimasa-masa mendatang. Dengan standar ini dimungkinkan dibangunnya suatu sistem transportasi berbasis informasi dan komunikasi secara terpadu. WAVE adalah standar yang difokuskan pada komunikasi pertukaran pesan untuk kendaraan.

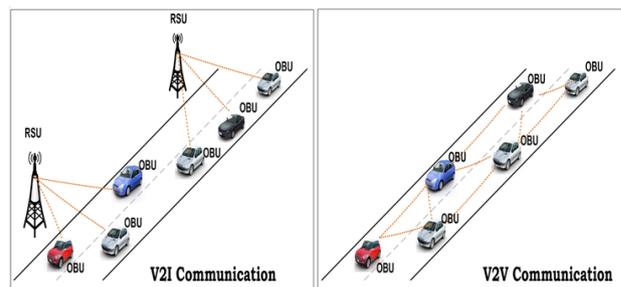
Arsitektur dan kerangka kerja WAVE didukung oleh beberapa jenis protokol yang saling terkait satu dan lainnya, meliputi: IEEE 802.11p [7], IEEE 1609.1 [8], IEEE 1609.2 [9], IEEE 1609.3 [10], dan IEEE 1609 [11] sebagaimana yang ditunjukkan pada Gambar 1.

Protokol IEEE 802.11p adalah sebuah standar untuk pengoperasian lapisan fisik (PHY) dan sebahagian lapisan datalink (MAC). Sedangkan protokol IEEE 1609.1 adalah standar yang dirancang untuk pengoperasian berbagai jenis aplikasi di lokasi *remote* sehingga dapat memungkinkan terjadinya komunikasi antara perangkat OBU (*Onboard Unit*) yang diinstal pada kendaraan melalui perangkat RSU (*Road Side Unit*) yang terinstal pada infrastruktur sepanjang jalan. Protokol IEEE 1609.2 adalah standar untuk layanan keamanan, IEEE 1609.3 adalah standar yang mengatur penggunaan *channel*. Sedangkan protokol IEEE 1609.4 adalah standar yang mengatur pengoperasian jenis pertukaran paket data [12].

Pengoperasian sejumlah protokol WAVE telah memungkinkan terjadinya komunikasi pertukaran informasi antara kendaraan dengan infrastruktur atau disebut *Vehicle to Infrastructure (V2I)* dan pertukaran informasi antar kendaraan atau disebut *Vehicle to Vehicle (V2V)*. Perpaduan kedua jenis ini komunikasi ini ditetapkan sebagai dasar sistem komunikasi pada teknologi VANETs dimana sejumlah kendaraan dapat berkomunikasi menggunakan jaringan nirkabel baik secara infrastruktur maupun ad-hoc. Standar WAVE dibangun di atas dua unit dasar, yang disebut RSU dan OBU. RSU adalah unit infrastruktur yang merupakan jalur akses (*Access Points*) untuk menghubungkan pertukaran komunikasi pada kendaraan sehingga dapat mengakses jaringan. Sedangkan OBU adalah perangkat jaringan yang berada pada kendaraan. Sebuah OBU dapat berkomunikasi dan mengubah pesan ke OBU lain [13]. Pertukaran informasi antar OBU disebut sistem komunikasi V2V. Sementara pertukaran informasi antara OBU dengan RSU disebut



Gambar 1. Arsitektur dan Kerangka Kerja WAVE



Gambar 2. Komunikasi V2I/V2R dan V2V [13]

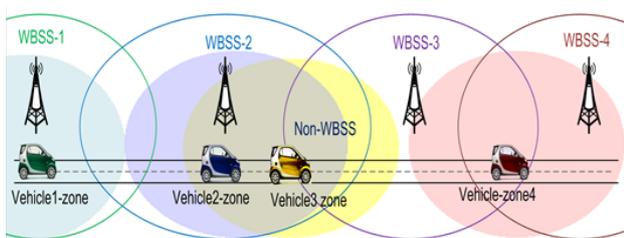
Tabel 1. Perbandingan WAVE dengan Teknologi Nirkabel Lain [13]

	WAVE	FM Radio	Cellular	Wimax	Satellite
Max. Range	<1 km	hundreds	<10	<10	Thousands
Data Rate	6-27 Mbps	<10 kbps	< 100 kbps 3G 2-3 Mbps	70 Mbps	100-200 Mbps
Coverage	Los-2way	Area-1way	Area-2way	Area-2way	Area-2way
Cost (per bit)	free	free	\$\$	\$	\$\$

dengan sistem komunikasi V2I. Ilustrasi kedua sistem komunikasi tersebut dapat dilihat pada Gambar 2.

Untuk zona komunikasi pada jaringan VANETs dibedakan oleh dua istilah, yaitu: *WAVE Basic Service Sets* (WBSS) dan non-WBSS. Zona komunikasi WBSS dan non-WBSS dapat diplot sebagai sistem komunikasi V2I dan V2V. Zona komunikasi WBSS dan non-WBSS yang telah dilengkapi pada sejumlah kendaraan dapat diilustrasikan sebagaimana yang ditunjukkan pada Gambar 3. Bila dilihat dari kiri ke kanan, ilustrasi tersebut mendeskripsikan suatu proses komunikasi pada WBSS-1 hingga WBSS-4 dengan zona komunikasinya masing-masing. Dimulai dari kiri, pertukaran informasi pada zona komunikasi WBSS-1 dengan *vehicle-1* dikategorikan sebagai sistem komunikasi V2I, pertukaran informasi pada WBSS-2 dikategorikan sebagai V2I atau V2V dikarenakan sesi komunikasi terjadi pada waktu yang sama. Pertukaran informasi antara *vehicle-2* dengan WBSS-2 adalah sistem komunikasi V2I sementara pertukaran informasi antara *vehicle-2* dengan *vehicle-3* adalah sistem komunikasi V2V. Hal ini dikarenakan kedua kendaraan tersebut berada pada zona komunikasi non-WBSS. Sementara itu, untuk *vehicle-4* berada pada dua zona komunikasi WBSS-3 dan WBSS-4. Pada saat *vehicle-4* melaju meninggalkan WBSS-3, maka koneksi dengan WBSS-3 akan terputus dan langsung terhubung dengan koneksi pada WBSS-4. Posisi *vehicle-4* tersebut merupakan area transisi yang disebut dengan area *handover* atau *handoff*.

Secara umum, *handover* merupakan mekanisme perpindahan komunikasi pada sistem jaringan nirkabel secara berkelanjutan antara sebuah *mobile Stasiun* (STA) atau unit pada kendaraan (OBU) dengan *Access Points* (AP) atau perpindahan komunikasi dari zona komunikasi WBSS yang satu ke cakupan zona komunikasi WBSS berikutnya. Ketika sudah diinisiasi, sebuah WBSS tetap di tempat pada setiap perangkat yang berpartisipasi sampai dihentikan secara lokal. Peralatan WAVE dapat secara mandiri memutuskan untuk meninggalkan sebuah WBSS. Selain itu, tanpa WBSS, peralatan WAVE dapat



Gambar 3. Ilustrasi zona komunikasi WBSS dan non-WBSS

berkomunikasi dengan menggunakan WAVE *Short Message Protocol* (WSMP) melalui jaringan WAVE atau disebut non-WBSS. Skenario ini biasanya terjadi pada sistem komunikasi V2V. Standar jangkauan transmisi untuk perangkat WAVE adalah lebih kurang 1 (satu) kilometer dengan ukuran data transfer rata-rata yang dapat divariasikan antara 6-27 MBps [13]. Adapun perbandingan WAVE dengan teknologi nirkabel lainnya dapat dilihat pada Tabel 1.

Secara keseluruhan, protokol IEEE 802.11p dan IEEE 1609.x adalah seperangkat protokol yang dimaksudkan untuk pengoperasian WAVE dengan tujuan untuk memfasilitasi penyediaan akses nirkabel dalam lingkungan kendaraan (VANETs) untuk mendukung pengembangan teknologi ITS.

III. PEMODELAN MOBILITAS

Secara umum, model mobilitas merupakan representasi untuk mewakili pergerakan *mobile unit* (unit bergerak), yang mencakup lokasi, kecepatan, percepatan, perlambatan serta perubahan dari waktu ke waktu. Pemodelan mobilitas sering digunakan untuk tujuan mensimulasikan suatu teknik dari sistem komunikasi atau teknik navigasi yang ingin diselidiki. Untuk sistem komunikasi bergerak, skema pemodelan mobilitas sering digunakan untuk memprediksi posisi *mobile unit* berikutnya. Dalam kasus pemodelan mobilitas kendaraan, mobilitas *node* (kendaraan) dibatasi oleh jalan raya, jalan, dan jalan-jalan kecil, sehingga kecepatan dan perlambatan kendaraan, keakuratan peta jaringan jalan, serta posisi berikutnya dari kendaraan perlu diprediksi dengan sempurna. Untuk mobilitas kendaraan pada VANETs, jumlah dan pergerakan *node* sangat banyak dan tinggi dengan topologi yang sangat dinamis, serta memiliki kebebasan dan keterbatasan pergerakan (*motion constraints*) pada setiap simpulnya. Oleh karena itu diperlukan pemodelan mobilitas tertentu untuk memanfaatkan informasi arus lalu lintas dan peta informasi secara akurat. Model mobilitas lalu lintas memainkan peranan yang sangat penting dalam perancangan jaringan VANETs. Tanpa pemodelan mobilitas yang tepat akan sulit mendapatkan hasil analisis yang akurat dalam sebuah simulasi jaringan VANETs.

Menurut Härrä et al., pemodelan mobilitas lalu lintas pada jaringan kendaraan dapat dilakukan melalui 4 (empat) pendekatan pemodelan, meliputi [4]:

- Pendekatan model sintetik (*synthetic*)
Pendekatan model sintetik merupakan pemodelan berbasis matematika. Model ini dikembangkan

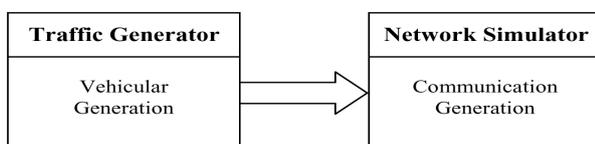
untuk memahami gerakan tertentu dari kendaraan yang kemudian diterjemahkan ke dalam formulasi matematika. Pemodelan mobilitas ini dapat dibagi menjadi beberapa pendekatan yang meliputi: model stokastik, model aliran lalu lintas, *car-following-model* (CFM), model antrian dan model perilaku. Namun pendekatan ini memiliki keterbatasan karena memiliki tingkat kompleksitas yang tinggi.

- Pendekatan berbasis survei (*survey-based*)
Pendekatan model ini adalah pemodelan berbasis pada hasil survei terhadap pola mobilitas lalu lintas. Model ini digunakan untuk pengkalibrasian model mobilitas lalu lintas dengan menggunakan hasil survei atau pendekatan statistik. Keterbatasan dari pendekatan model ini terletak pada hasil survei atau data statistik yang hanya mampu menyediakan model mobilitas secara umum dan data kasar, sehingga untuk mendapatkan representasi mobilitas lalu lintas yang realistis diperlukan model matematis yang kompleks.
- Pendekatan berbasis pola jejak (*trace-based*)
Pendekatan model ini berbasis pada pola rekam jejak pergerakan mobilitas lalu lintas. Pemodelan jenis ini telah mampu memisahkan sebuah model mobilitas lalu lintas yang mencerminkan pola gerak secara lebih realistis. Keterbatasan pendekatan jenis ini terletak pada kesulitan untuk memprediksikan kemungkinan pola yang tidak diamati secara langsung. Namun dengan menggunakan pendekatan matematika yang kompleks, pola mobilitas yang tidak diamati masih memungkinkan untuk diprediksikan. Keterbatasannya terletak pada kelas pengukuran, semisal pola gerakan yang diamati adalah pola pergerakan sebuah bus umum, model ekstrapolasi-nya tidak dapat diterapkan untuk mobilitas lalu lintas kendaraan pribadi. Keterbatasan lainnya adalah terbatasnya ketersediaan jejak-jejak kendaraan, dimana jejak kendaraan yang satu dengan yang lainnya belum tentu sama.
- Pendekatan berbasis simulasi (*traffic simulator-based*)
Pendekatan ini berbasis pada penggunaan alat simulasi untuk membangkitkan pola mobilitas lalu lintas. Pendekatan model simulasi merupakan hasil kombinasi umum dari pendekatan model sintetik, survei dan pola jejak pergerakan kendaraan. Model ini merepresentasikan pemisahan dari jejak mobilitas kendaraan yang didasarkan pada simulator lalu lintas dengan detail. Kombinasi antara pembangkit lalu lintas dan simulator jaringan dapat memberi akses pada pola mobilitas lalu lintas yang telah tervalidasi dan mampu memperoleh tingkat kerincian yang tidak dapat diperoleh dari pendekatan model mobilitas

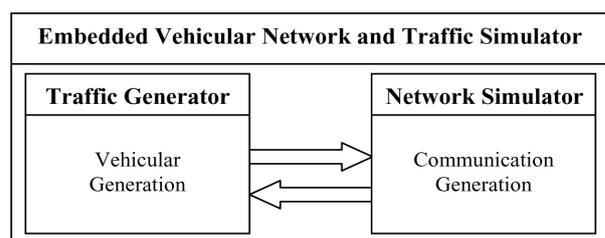
lalu lintas yang lain. Pendekatan berbasis simulator pembangkit lalu lintas telah menunjukkan popularitas yang meningkat di kalangan komunitas riset karena pendekatan ini memungkinkan untuk mendapatkan tingkat presisi yang tidak dapat dicapai oleh model sintetik murni.

Berdasarkan pendekatan pemodelan diatas, pemodelan mobilitas lalu lintas kendaraan yang cocok digunakan adalah pendekatan berbasis pada simulasi lalu lintas. Namun, pendekatan ini memiliki keterbatasan yang terletak pada jenis perangkat simulator yang digunakan, khususnya untuk mengevaluasi pola lalu lintas dengan area yang luas. Proses integrasi dan interaksi antara pembangkit lalu lintas dan simulator jaringan memiliki peranan yang sangat penting untuk mensukseskan sebuah model simulasi yang realistis. Pendekatan berbasis pada simulasi lalu lintas terbagi menjadi tiga jenis pemodelan mobilitas. Masing-masing jenis memiliki kelebihan dan kekurangan serta sangat tergantung pada kemampuan dan keterbatasan dari jenis dan tipe perangkat simulator yang digunakan. Adapun ketiga proses integrasi dan interaksi antara pembangkit lalu lintas dan simulator jaringan adalah sebagai berikut [4]:

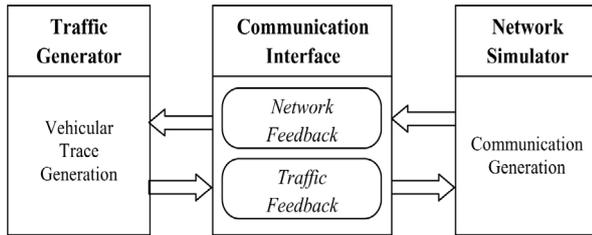
1. Pemodelan *Isolated Mobility Model*
Pemodelan mobilitas terisolasi adalah suatu pola pergerakan mobilitas yang dihasilkan oleh simulator pembangkit lalu lintas dan secara langsung mengizinkan skenario mobilitas tersebut untuk diintegrasikan langsung ke simulator jaringan, sebagaimana yang ditunjukkan Gambar 4. Proses interaksi antara pembangkit lalu lintas dan simulator jaringan adalah searah. Keterbatasannya adalah model ini tidak mengizinkan perubahan terhadap skenario mobilitas lalu lintas, dimana pembangkit lalu lintas tidak dapat menerima umpan balik dari simulator jaringan.
2. Pemodelan *Embedded Mobility Model*
Salah satu solusi untuk mengatasi kekurangan pemodelan mobilitas terisolasi adalah mengintegrasikan pembangkit lalu lintas dengan simulator jaringan secara tertanam, yaitu dengan menempatkan kedua jenis simulator secara bersama sehingga dapat berinteraksi antara satu dan lainnya didalam sebuah simulator dengan antarmuka sederhana atau disebut *simplistic off-shelf-discrete event simulator*. Pemodelan jenis ini dapat dilihat sebagaimana diilustrasikan pada Gambar 4. Keterbatasan pemodelan mobilitas lalu lintas ini adalah kurang berkualitasnya hasil rekam jejak mobilitas lalu lintas kendaraan, karena umpan



Gambar 4. Pemodelan mobilitas terisolasi [4]



Gambar 5. Pemodelan mobilitas terpadu [4]



Gambar 6. Pemodelan mobilitas federasi [4]

balik yang didapat oleh kedua simulator tersebut tidak dapat dihasilkan secara realistis.

3. Pemodelan *Federated Mobility Model*

Pemodelan ini dikembangkan untuk memodelkan mobilitas lalu lintas lebih realistis. Pemodelan mobilitas federasi merupakan hasil kombinasi dari pembangkit lalu lintas dan simulator jaringan. Proses integrasi dan interaksi kedua alat simulasi tersebut dikombinasikan melalui seperangkat antarmuka yang dinamakan antarmuka komunikasi sebagaimana diilustrasikan pada Gambar 5.

Model mobilitas lalu lintas ini dapat mengintegrasikan pembangkit lalu lintas dengan simulator jaringan secara independen and tervalidasi. Dengan model ini memungkinkan untuk didapatkannya sejumlah keuntungan dan dapat dijadikan solusi terbaik. Pengintegrasian kedua jenis alat simulasi juga dapat dilakukan secara lebih efektif dan efisien. Kelebihan model ini adalah dapat menjalankan kedua jenis alat simulasi secara sekaligus, sehingga memudahkan dilakukannya pemodelan dan simulasi lalu lintas yang lebih realistis dan dapat mendekati keadaan yang sebenarnya. Kedua simulator dapat saling memberikan umpan balik antara satu dengan yang lainnya dengan difasilitasi oleh antarmuka komunikasi. Salah satu kelebihan penerapan aplikasi VANETs dengan menggunakan *Federated Mobility Model* adalah dapat diimplementasikan untuk area observasi yang lebih luas (*large scale simulation*) dibandingkan dengan pemodelan lainnya

IV. PEMODELAN DAN SIMULASI VANETS MENGGUNAKAN FEDERATED MOBILITY MODEL

Federated Mobility Model merupakan pemodelan mobilitas lalu lintas yang dikembangkan dengan tujuan untuk membuat simulasi lebih realistis. Pemanfaatan model mobilitas lalu lintas kendaraan ini memungkinkan untuk dimodelkannya suatu simulasi penerapan aplikasi VANETs yang mendekati situasi dan kondisi dunia nyata. Pemodelan ini telah memasukkan sejumlah parameter yang membatasi tingkat kebebasan pergerakan kendaraan (*motion constraints*) dan telah berhasil ditingkatkan menjadi suatu pola pergerakan (*vehicular motion pattern*) yang meliputi: peta dan topologi jaringan jalan yang realistis dengan mencakup titik-titik simpul (*node and edge*), titik persimpangan (*intersection*), jumlah jalur (*lane*), penempatan lampu lalu lintas (*traffic light*), kebijakan arah jalan (*road policy*) kebijakan pada

persimpangan (*intersection policy*), tipe dan kelas jalan, serta batas kecepatan maksimum yang diizinkan untuk dilewati kendaraan (*roads and maximum vehicles speed*). Selain itu, model ini telah mencakup *motion constraints* dan *motion pattern* lainnya yang meliputi: *obstacles, attraction/repulsion points, vehicles characteristics, smooth deceleration and acceleration, trip motion, path motion, human driving pattern, intersection movement, time pattern* dan pengaruh eksternal lainnya [4].

Pengintegrasian antara pembangkit lalu lintas dan simulator jaringan yang difasilitasi oleh antarmuka komunikasi dapat saling berinteraksi dan memberikan umpan balik secara bersamaan. Integrasi dan interaksi tersebut dapat menghasilkan suatu simulasi yang lebih riil. Pembangkit lalu lintas bertugas untuk membuat sejumlah tingkat kebebasan dan keterbatasan pergerakan menjadi suatu pola pergerakan yang disebut dengan pola mobilitas lalu lintas (*traffic mobility pattern*). Dengan difasilitasi oleh antarmuka komunikasi, seluruh pola mobilitas lalu lintas yang dihasilkan dapat dipergunakan oleh simulator jaringan. Simulator jaringan akan menterjemahkan pola mobilitas tersebut, dan memberikan tanggapan terhadap seluruh informasi yang ada serta mengimplementasikannya dalam pola pergerakan *node-node* yang disimulasikan. Didalam simulator jaringan, pola pergerakan *node-node* tersebut kemudian diintegrasikan dengan aplikasi VANETs sesuai dengan standar yang telah ditetapkan. Dengan memanfaatkan mobilitas lalu lintas tersebut, aplikasi VANETs pada simulator jaringan dapat dibuat secara lebih realistis dan lebih akurat.

Untuk selanjutnya, aplikasi VANETs yang disimulasikan pada simulator jaringan dapat memberikan sejumlah perintah dan tanggapan terhadap mobilitas lalu lintas yang telah ada. Perintah dan tanggapan yang diberikan oleh simulator jaringan sangat tergantung kepada jenis dan model aplikasi VANETs yang ingin disimulasikan. Berdasarkan perintah dan tanggapan dari aplikasi VANETs yang disimulasikan, simulator jaringan dengan difasilitasi kembali oleh antarmuka komunikasi dapat memberikan umpan baliknya kepada pembangkit lalu lintas berupa informasi mobilitas lalu lintas yang baru. Informasi tersebut akan diterjemahkan kembali oleh menjadi sebuah umpan balik baru untuk simulator jaringan. Umpan balik yang diberikan tersebut adalah pola mobilitas yang baru dan selanjutnya akan diproses kembali oleh simulator jaringan seperti sebelumnya. Dengan demikian, kedua perangkat simulator akan berinteraksi terus menerus secara bersamaan (*concurrently*) hingga simulasi selesai.

Berdasarkan survei dan sejumlah literatur yang ada terdapat beberapa penelitian yang telah sukses menerapkan *Federated Mobility Model* untuk mensimulasikan aplikasi VANETs. Dari sejumlah penelitian yang ada, simulator jaringan yang digunakan sangat bervariasi, mulai dari NS-2, NS-3, JiST/SWAN hingga ke OMNET++. Namun, untuk pembangkit lalu lintas, umumnya yang digunakan adalah *Simulation of Urban MObility* (SUMO). SUMO adalah paket simulasi lalu lintas *microscopic car-*

following models (CFM) and lane-changing models yang penerapannya didukung oleh algoritma Dijkstra. SUMO bersifat *open source* termasuk aplikasi simulasinya sendiri beserta sejumlah alat-alat pendukungnya, terutama untuk impor jaringan dan pemodelan permintaan. SUMO telah membantu untuk menyelidiki berbagai macam topik penelitian, terutama dalam konteks manajemen lalu lintas dan jaringan komunikasi kendaraan. Salah satu kelebihan SUMO adalah dukungan terhadap ketersediaan perangkat antarmuka komunikasi yang telah kompatibel dengan berbagai jenis perangkat simulator jaringan. Perangkat antar muka komunikasi pada pembangkit lalu lintas SUMO dinamakan *Traffic Control Interface (TraCI)* [14].

Secara umum, penggunaan TraCI memungkinkan pembangkit lalu lintas dan simulator jaringan dijalankan secara dinamis dan dapat berinteraksi secara *online*. Pada saat terjadi interaksi antara antara kedua simulator tersebut, pembangkit lalu lintas akan bertindak sebagai “*server*”, dan simulator jaringan bertindak sebagai “*client*”. *Server* dan *client* dapat berkomunikasi antara satu dengan lainnya melalui penggunaan *IP socket*. Semua data yang dikirimkan dari *server* akan ditanggapi oleh *client*, begitu juga sebaliknya semua perintah yang dikirimkan oleh *client* juga akan ditanggapi oleh *server*. Tanggapan dari perintah dapat berupa pembaharuan pola pergerakan secara dinamis yang meliputi: *change-route*, *change-lane*, *change target*, *stop*, *set speed*, dan lain-lainnya tergantung pada jenis aplikasi VANETs yang disimulasikan [15].

Adapun sejumlah penelitian yang menggunakan *Federated Mobility Model* dengan dukungan TraCI sebagai antarmuka komunikasinya, dapat dilihat pada Tabel 2.

TraNS merupakan penelitian pertama yang berhasil mengembangkan penerapan aplikasi VANETs berbasis pada *Federated Mobility Model*. TraNS dikembangkan dengan mengkombinasikan dua mode, yaitu *network-centric mode* dan *application-centric mode*. *Network-centric mode* dikembangkan dengan SUMO dan *application-centric mode* menggunakan NS-2. Untuk mengkopling kedua mode tersebut, TraCI digunakan sebagai antarmuka komunikasi kedua mode tersebut [16]. Penelitian lainnya yang menggunakan pemodelan *Federated Mobility Model* sebagai basis pensimulasian

penerapan VANETs adalah *The Mobility Model Generator for Vehicular Networks (MOVE)* [17]. Secara mendasar, pengembangan MOVE dilakukan dengan menggunakan metode pemodelan dan simulasi yang hampir sama. Salah satu kelebihan MOVE adalah dapat dijadikan sebagai pengurai (*parser*) untuk membantu memudahkan pengkodean SUMO XML dengan dukungan antarmuka grafis (GUI) yang dimilikinya. Kemudian secara terpisah, dilanjutkan oleh VGrid [18], Veins [19], VsimRTI [20] [21] dan iTETRIS [22].

VGrid merupakan sebuah simulator yang berbasis pada *Java in Simulation Time (JiST)*. Simulator jaringan dan pembangkit lalu lintas diintegrasikan dan dijalankan dengan sebuah loop yang dapat saling memberikan umpan balik satu sama lain, sehingga memungkinkan terjadinya interaksi antara jaringan nirkabel dengan mobilitas lalu lintas kendaraan. Kelebihan dari VGrid adalah dapat menyajikan informasi tentang keberadaan jaringan dapat diperoleh dari *Scalable Wireless Network Simulator (SWANS)* yang dibangun diatas JiST [18]. Berbeda dengan VGrid, *Vehicles in Network Simulation (Veins)* menggunakan OMNET++ sebagai simulator jaringannya. Namun, konsep pemodelan mobilitas lalu lintas kendaraan sama-sama menggunakan *Federated Mobility Model* dimana kedua simulator dikopling secara *bi-directional* (dua arah).

Simulasi jaringan dan mobilitas lalu lintas dengan metode kopling dua arah yang diterapkan oleh Veins dapat memberikan dampak langsung terhadap jalannya simulasi jaringan dan rekam jejak mobilitas lalu lintas jalan, baik yang dihasilkan dengan menggunakan topologi lalu lintas jalan mikro maupun topologi jaringan lalu lintas pada dunia nyata. Dengan menggunakan kopling dua arah, Veins dapat mengevaluasi secara langsung dampak dari penerapan aplikasi VANETs pada lalu lintas jalan. Oleh karena itu penggunaan Veins memungkinkan dilakukannya pemodelan lalu lintas lebih realistis [19].

V2X simulation RunTime Infrastructure (VsimRTI) merupakan sebuah sistem yang fleksibel yang dapat mensimulasikan arus lalu lintas secara dinamis. VsimRTI mengkopling beberapa simulator yang berbeda sehingga memungkinkan pensimulasian berbagai aspek dari teknologi ITS. Integrasi dan pemanfaatan beberapa simulator yang relevan memungkinkan untuk dihasilkannya representasi mobilitas lalu lintas kendaraan yang realistis, data emisi kendaraan, informasi tentang data komunikasi nirkabel, dan pengekseskuan aplikasi V2X. VsimRTI mengkombinasikan beberapa set perangkat simulasi yang meliputi: VISSIM dan SUMO sebagai pembangkit lalu lintas, JiST/SWAN dan OMNET++ sebagai simulator jaringan [20]. Dalam pengembangannya terkini, VsimRTI telah mengembangkan modul simulator jaringannya dengan mengkombinasikan CCMSim sebagai simulator yang khusus untuk mensimulasikan IEEE 802.11p *Physical Layer (PHY)* dan tetap menggunakan OMNET++ sebagai tingkatan lapisan komunikasi yang lebih tinggi diatasnya. Kelebihan yang didapatkan adalah dapat mensimulasikan lapisan fisik secara lebih detail

Tabel 2. Federated Mobility Model Research Projects

Research Projects	Traffic Generator	Network Simulator	Simulator Platform
TraNS	SUMO	NS-2	C++
MOVE	SUMO	NS-2	C++
VGrid	SUMO	JiST/SWANS	Java
Veins	SUMO	OMNET++	C++
VSimRTI	SUMO, VISSIM	JiST/SWANS, OMNET++, CCMSim	Java
iTETRIS	SUMO	NS-3	C++

dengan tetap mempertahankan pemodelan lalu lintas yang realistis [21].

Salah satu platform simulator modular yang sangat intensif dikembangkan hingga saat ini yang dapat melakukan simulasi dan evaluasi aplikasi kooperatif ITS dengan skala area observasi yang luas (*large scale simulation*) adalah iTETRIS. iTETRIS dikembangkan oleh *European-Union* (EU) dalam rangka menindaklanjuti pengembangan aplikasi ITS berbasis pada teknologi VANETs untuk manajemen dan rekayasa lalu lintas. iTETRIS dikembangkan berdasarkan WAVE standard dan arsitektur ITS yang telah ditetapkan oleh *European Telecommunications Standards Institute* ITS *Communication Stacks* (ETSI ITSC) berbasis pada *Federated Mobility Model*. Model yang dikembangkan menggunakan NS-3 sebagai jaringan komunikasi nirkabel dan SUMO sebagai pembangkit lalu lintas dan didukung oleh TraCI sebagai antarmuka komunikasinya sehingga dapat menghasilkan umpan balik dua arah secara bersamaan dalam sebuah aplikasi yang dinamakan iTETRIS Control System (iCS). Berbeda dengan *Federated Mobility Model* lainnya, iTETRIS iCS telah meningkatkan pengembangan TraCI menjadi iTETRIS *Network simulator Control Interface* (iNCI) sehingga mampu melakukan pertukaran informasi secara dua arah tidak hanya mengandalkan teknologi VANETs, namun juga telah terintegrasi dengan teknologi WiMAX, UMTS dan DBV-H *broadcasting system*. Selain itu, data pembaruan posisi kendaraan juga dapat diperoleh dengan menggunakan data yang dihasilkan oleh GPS dengan memanfaatkan *GeoRouting Protocol*. Keunggulan iTETRIS dibandingkan dengan *Federated Mobility Model* adalah dapat mengaplikasikan berbagai jenis aplikasi ITS yang diantaranya meliputi: *Cooperative Awareness Message*, *Cooperative Traffic Estimation Message*, *Cooperative Traffic Congestion Detection*, *Decentralized Environmental Notification Message*, dan sejumlah aplikasi lainnya [22].

Dari sejumlah penelitian tersebut diatas dapat diketahui bahwa hasil pemodelan dan simulasi VANETs menggunakan *Federated Mobility Model* jauh lebih realistis dan lebih akurat daripada pemodelan *Isolated* maupun *Embedded Mobility Model* sebelumnya. Selain itu, pemanfaatan TraCI sebagai antar muka komunikasi juga mengizinkan untuk pengontrolan perilaku kendaraan selama simulasi berjalan dengan konsekuensi terjadi perubahan pola pergerakan. Hal tersebut bertujuan untuk memudahkan pensimulasian aplikasi VANETs, sehingga dapat dilakukan dengan lebih akurat dan lebih realistis.

V. KESIMPULAN

Adapun beberapa kesimpulan yang dapat diambil dari hasil review berbagai penelitian tentang pemodelan dan simulasi VANETs menggunakan *Federated Mobility Model* adalah sebagai berikut:

1. Pemanfaatan *Federated Mobility Model* untuk pemodelan mobilitas lalu lintas kendaraan telah memungkinkan dilakukannya simulasi aplikasi

VANETs yang mendekati situasi dan kondisi riil.

2. *Federated Mobility Model* dapat mengakomodir sejumlah parameter yang membatasi tingkat kebebasan pergerakan kendaraan yang dapat dijadikan suatu pola pergerakan yang dapat digunakan untuk pemodelan dan simulasi VANETs secara lebih realistis.
3. Kelebihan pemodelan *Federated Mobility Model* adalah dapat menjalankan dua jenis simulator secara dua arah dengan bersamaan dan dinamis, sehingga pemodelan dan simulasi lalu lintas yang disimulasikan akan lebih realistis. Kelebihan lainnya dari pemodelan ini adalah mampu mensimulasikan penerapan aplikasi VANETs dengan area observasi yang luas.

Oleh karena itu, penggunaan *Federated Mobility Model* untuk pemodelan dan simulasi aplikasi VANETs dapat dilakukan dengan mudah dan lebih luas, serta hasil simulasi dapat dianalisis secara akurat dan lebih realistis.

REFERENSI

- [1] H. Hartenstein, K.P. Laberteaux., "A tutorial survey on vehicular ad hoc networks," IEEE Communications Magazine, vol.46, no.6, pp.164-171, June 2008.
- [2] F. Dressler et al., "Inter-vehicle communication: Quo vadis," IEEE Communications Magazine, vol.52, no.6, pp.170-177, June 2014
- [3] F. Dressler et al., "Toward realistic simulation of intervehicle communication." IEEE Vehicular Technology Magazine, vol. 6, no. 3, pp 43-51, Sept. 2011.
- [4] J. Harri, F. Filali, and C. Bonnet, "Mobility model for vehicular ad hoc networks: a survey and taxonomy," IEEE Communications Surveys & Tutorials, vol.11, no.4, pp.19-41, 2009.
- [5] J.B. Kenney, "Standards and regulations," in VANET: vehicular applications and inter-networking technologies, John Wiley & Sons, pp. 365-428, 2010.
- [6] D. Jiang and L. Delgrossi, "IEEE 802.11p: Towards an International Standard for Wireless Access in Vehicular Environments." In IEEE Conference on Vehicular Technology. p.2036-2040, 2008.
- [7] IEEE 802.11p standard, "IEEE Standard for Information Technology of Telecommunication and information exchange between systems for local and metropolitan area network, Specific requirements Part 11: Wireless LAN MAC and PHY Specification, Amendment 6: Wireless Access in Vehicular Environment." IEEE Computer Society. New York, USA, 2010.
- [8] IEEE 1609.1 standard, "IEEE Trial-Use Standard for Wireless Access in Vehicular Environments (WAVE) – Resource Manager." IEEE Vehicular Technology Society. New York, USA, 2006
- [9] IEEE 1609.2 standard, "IEEE Trial-Use Standard for Wireless Access in Vehicular Environments (WAVE) – Security Service for Application and Management Message." IEEE Vehicular Technology Society. New York, USA, 2006.
- [10] IEEE 1609.3 standard, "Revision of IEEE Std. 1609.3-2007: IEEE Standard for Wireless Access in Vehicular Environments (WAVE) - Networking Services." IEEE Vehicular Technology Society. New York, USA, 2010.
- [11] IEEE 1609.4 standard, "IEEE Standard for Wireless Access in Vehicular Environments (WAVE) – Multi-Channel Operation." IEEE Vehicular Technology Society. New York, USA, 2010.

- [12] G. R. Hiertz et al., "The IEEE 802 Universe." *IEEE Communication Magazine*. Vol.48(1). p.62-70, 2010.
- [13] Morgan Y. L. Notes on DSRC & WAVE Standard Suite: Its Architecture, Design, and Characteristics. *IEEE Communication Surveys & Tutorial*. Vol.12(4). p.504-518, 2010.
- [14] D. Krajzewicz et al. "Recent development and applications of SUMO—simulation of urban mobility." *International Journal On Advances in Systems and Measurements*, pp. 128-138, 2012
- [15] Traffic Control Interface (TraCI), available at <http://sumo.dlr.de/wiki/TraCI>, accessed October 2014.
- [16] M. Piorkowski et al. "TraNS: realistic joint traffic and network simulator for VANETs." *ACM SIGMOBILE Mobile Computing and Communications Review* 12.1, pp 31-33, 2008.
- [17] K. Lan and C. Chien-Ming. "Realistic mobility model for vehicular ad hoc network (VANET) simulations." 8th IEEE International Conference on ITS Telecommunications, 2008.
- [18] B. Khorashadi, et al., "Distributed automated incident detection with VGRID," *IEEE Wireless Communication*, vol. 18, no. 1, pp. 64–73, Feb. 2011
- [19] C. Sommer, R. German and F. Dressler, "Bidirectionally Coupled Network and Road Traffic Simulation for Improved IVC Analysis," *IEEE Transactions on Mobile Computing*, vol.10, no.1, pp.3-15, Jan. 2011.
- [20] B. Schünemann, "V2X simulation runtime infrastructure VsimRTI: An assessment tool to design smart traffic management systems," *Journal of Computer Networks, ScienceDirect, Elsevier B.V.*, Vol. 55, pp 3189–3198, May 2011.
- [21] R. Protzmann et al., "Extending the V2X simulation environment VSimRTI with advanced communication model," 12th International Conference on ITS Telecommunications (ITST) 2012, pp.683-688, Nov. 2012
- [22] M. Rondinone et al., "iTETRIS: A modular simulation platform for the large scale evaluation of cooperative ITS applications." *Journal of Simulation Modelling Practice and Theory, ScienceDirect, Elsevier B.V.*, Vol. 34, pp 99–125, May 2013.

Penerbit:

Jurusan Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Syiah Kuala

Jl. Tgk. Syech Abdurrauf No. 7, Darussalam, Banda Aceh 23111

website: <http://jurnal.unsyiah.ac.id/JRE>

email: rekayasa.elektrika@unsyiah.net

Telp/Fax: (0651) 7554336

