

SIMULASI DAN ANALISIS PERFORMANSI DARI PROTOKOL *ROUTING* BERBASIS POSISI GPRS DAN GyTAR UNTUK *VEHICLE COMMUNICATION* PADA *VEHICULAR AD HOC NETWORK* (VANET)

Irma Nurlita Dewi¹, Rendy Munadi², Leanna Vidya Y.³

^{1,2,3}Fakultas Teknik Elektro, Universitas Telkom

¹irmanurlitadewi@gmail.com, ²rendymunadi@telkomuniversity.ac.id, ³leanna@telkomuniversity.ac.id

Abstrak

Vehicular Ad hoc Network (VANET) merupakan konsep subset dari *Mobile Ad hoc Networks (MANET)* sebagai teknologi yang memungkinkan komunikasi *Inter Vehicle Communication (IVC)* dan *Roadside-to-Vehicle (RVC)*. VANET dikarakteristikan dengan membangun jaringan *ad hoc* yang dibentuk dari *node-node* berupa kendaraan bermobilitas tinggi yang dibatasi dengan aturan lalu lintas sehingga pergerakannya disesuaikan dengan pola tertentu, tidak seperti MANET yang pergerakannya bisa random tanpa ada batasan. Dengan demikian, protokol *routing* konvensional berbasis topologi pada MANET dinilai tidak cocok untuk VANET. Protokol *routing* berbasis posisi seperti GPRS dan GyTAR dinilai cocok untuk VANET. Hal ini tak lain karena aspek dinamika topologi pada VANET yang dapat berdampak nyata pada analisis protokol *routing*. Dari hasil simulasi diperoleh bahwa GyTAR unggul pada skenario lingkungan perkotaan dilihat dari seluruh parameter *end-to-end delay*, *packet delivery ratio*, *packet loss* dan *normalized routing overhead* yang lebih baik dari GPRS dengan rata-rata nilai masing-masing, yakni 2,294 ms, 0,958, 4,19%, dan 0,482. Sementara pada skenario lingkungan jalan tol GPRS lebih unggul dibandingkan GyTAR dengan rata-rata nilai *end-to-end delay*, *packet delivery ratio*, dan *packet loss* sebesar 2,639 ms, 0,920, dan 7,923%; namun dengan perolehan NRO yang lebih kecil oleh GyTAR, yakni sebesar 1,725.

Kata Kunci: VANET, MANET, GPRS, GyTAR, IVC, SUMO

Abstract

Vehicular Ad hoc Network (VANET) is a subset concept of *Mobile Ad hoc Networks (MANET)* that provides *Inter Vehicle Communications (IVC)* and or *Roadside-to-Vehicle Communication (RVC)*. VANET is characterized by the *ad hoc* network infrastructure from highly dynamic vehicular nodes that move on predefined roads and traffic sign, unlike MANET that can move around randomly with no boundaries. Compare with MANET, VANET has higher node mobility and more complex pattern since the speed and behavior of driver are varied. Thus, the conventional topology-based routing protocols are no longer efficient for VANET. Position-based routing protocols like GPRS and GyTAR are more suitable for VANET. This is because these routing protocols can affect significantly to the highly dynamic nature of vehicular nodes. From the simulation result obtained that GyTAR outperforms GPRS in urban scenario for all performance metrics: *end-to-end delay*, *packet delivery ratio*, *packet loss* and *normalized routing overhead* better than GPRS, which its value respectively are 22.294 ms, 0.958, 4.19%, dan 0.482. While in highway scenario, GPRS outperforms GyTAR with average value of *end-to-end delay*, *packet delivery ratio*, and *packet loss* respectively are 2.639 ms, 0.920, and 7.923%; but posing less NRO of 1.725 by GyTAR.

Keywords: VANET, MANET, GPRS, GyTAR, IVC, SUMO

1. Pendahuluan

Sebuah konsep baru telah berkembang yang memungkinkan komunikasi antar kendaraan (*inter vehicle*) dan komunikasi antara kendaraan dengan infrastruktur di sekitar jalan (*vehicle to roadside*). Konsep jaringan *wireless* yang merupakan subset dari *Mobile Ad hoc Network (MANET)* ini dikenal sebagai *Vehicular Ad hoc Network (VANET)*. Komunikasi yang berlangsung pada VANET ini nantinya dapat digunakan untuk menyediakan aplikasi-aplikasi transportasi untuk keperluan keamanan, hiburan, hingga aplikasi untuk

kenyamanan pengendara. VANET membangun *ad hoc network*-nya di antara kendaraan-kendaraan dengan dinamika pergerakan *node* yang tinggi, tentunya memerlukan implementasi protokol *routing* yang sesuai dengan karakteristiknya. Walaupun merupakan subset dari MANET, protokol-protokol *routing* konvensional yang sebelumnya diimplementasikan pada MANET dinilai kurang adaptif jika diimplementasikan secara murni pada VANET. Hal ini karena VANET memiliki beberapa karakteristik yang amat membedakan dirinya dari MANET. Mobilitas *node* yang lebih tinggi dengan dibatasi oleh aturan dan jalur lalu lintas serta

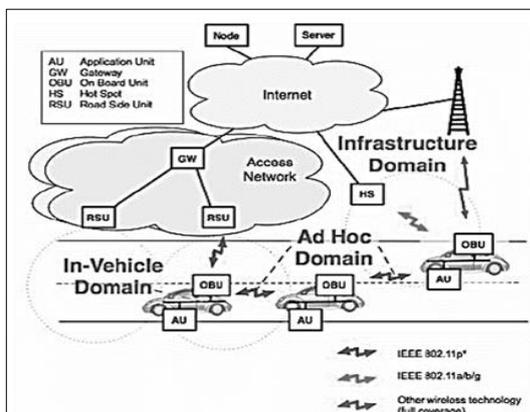
dilibatkannya kecepatan, perilaku pengendara, dan tersedianya alternatif rute-rute perjalanan menjadi beberapa poin pembeda dari MANET [2, 5, 9].

Tujuan dari penelitian ini adalah menyimulasikan dan menganalisis perbandingan kinerja dua protokol *routing* berbasis posisi, yakni *Greedy Perimeter Stateless Routing* (GPSR) dan *Greedy Traffic Aware Routing* (GyTAR) untuk komunikasi antar kendaraan pada VANET di atas lingkungan perkotaan dan jalan tol, dengan metrik performansi berupa *end-to-end delay*, *packet delivery ratio*, *packet loss*, dan *normalized routing overhead*.

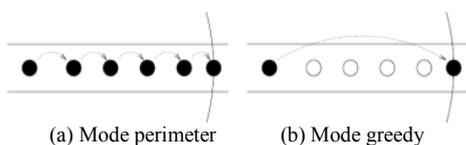
2. Konsep Vehicular Ad Hoc Network

2.1. Vehicular Ad Hoc Network

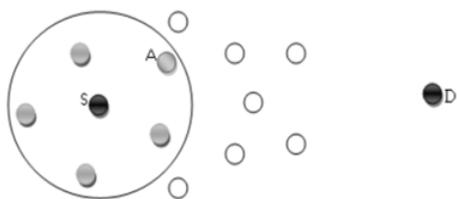
Vehicular Ad hoc Network (VANET) merupakan subset dari *Mobile Ad hoc Network* (MANET) yang membangun *ad hoc network* di antara kendaraan-kendaraan. Komunikasi *wireless* ini meliputi komunikasi *inter-vehicle communication* (IVC), *vehicle to roadside* (V2R), atau *roadside to roadside* (R2R). VANET ini kelak akan sangat berperan pada perkembangan teknologi *Intelligent Transportation System* (ITS) dalam menyediakan aplikasi keamanan dan kenyamanan bagi para pengendara jalan.



Gambar 1. Arsitektur Sistem VANET [2]



Gambar 2. Mode pada GPSR



Gambar 3. Pemilihan persimpangan pada GyTAR [8]

2.2. Karakteristik VANET

VANET memiliki beberapa karakteristik khusus yang membedakannya dari jaringan *ad hoc* lainnya. Karakteristik tersebut antara lain [5, 11]:

a. *Topologi yang sangat dinamis*

Jika diasumsikan dua kendaraan bergerak berjauhan dengan kecepatan masing-masing 60 mph (25 m/s) dengan *range transmisi* 250 m, maka link di antara kedua kendaraan ini akan berakhir dalam 5 detik (250 m atau 50 m/s). Hal ini mengindikasikan sebuah topologi yang sangat dinamis.

b. *Putusnya koneksi jaringan secara berkala*

Pada jaringan dinamis sebagaimana dijelaskan di atas, putusnya koneksi yang disebabkan perubahan informasi (posisi, arah, dll) dari kendaraan yang berkomunikasi dapat terjadi secara berkala khususnya pada jaringan di jalan yang lengang seperti jalan tol.

c. *Model mobilitas dan prediksi*

Pola mobilitas *node* masing-masing kendaraan bergantung pada lingkungan lalu lintas (baik itu perkotaan atau jalan tol), struktur jalan, kecepatan kendaraan, perilaku pengendara, dan lain sebagainya.

d. *Hard Delay Constraints*

Aspek keamanan dari aplikasi VANET (seperti kecelakaan, masalah rem, dan lain-lain) harus menjamin kecepatan pengiriman pesan ke *node-node* yang relevan. Dengan demikian, pemecahan isu *hard delay constraints* menjadi lebih penting dari *high data rate* pada VANET.

e. *Daya baterai dan kapasitas storage*

Berbeda dengan MANET, pada VANET, kendaraan modern memiliki daya baterai dan kapasitas *storage* yang tak terbatas sehingga sangat membantu dalam proses komunikasi dan *routing*.

f. *Interaksi dengan sensor onboard*

Posisi terkini dan pergerakan *node* dapat dengan mudah dikirim dengan *sensor onboard* seperti GPS. Ini akan membantu komunikasi yang lebih efektif dan begitu pula halnya dalam keputusan *routing*.

2.3. Arsitektur VANET

Sebuah arsitektur VANET terdiri dari domain-domain berbeda dan komponen-komponen individual sebagaimana tertera pada Gambar 1 yang menunjukkan tiga domain berbeda dalam kendaraan (*vehicle*), *ad hoc*, dan infrastruktur, termasuk di dalamnya komponen individual (*application unit*, *on-board unit*, dan *road-side unit*).

a. *In-Vehicle Domain*

Dalam sebuah kendaraan, terdiri sebuah *on-board unit* (OBU) dan satu atau lebih *applications units* (AU). AU mengeksekusi seperangkat aplikasi yang memanfaatkan kemampuan komunikasi OBU.

b. *Ad hoc Domain*

Sebuah domain *ad hoc* terdiri dari kendaraan-kendaraan yang dilengkapi dengan OBU dan *road-side units* (RSUs) yang tanpa koordinasi terpusat membentuk VANET.

c. *Infrastructure Domain*

Sebuah infrastruktur terdiri dari RSU dan *Wireless Hotspots* (HT) yang dapat diakses kendaraan sebagai aplikasi keamanan ataupun non-keamanan. Ketika RSU digunakan untuk mengakses internet, biasanya diatur oleh *road administrator* atau *public authorities* lain.

2.4. *Inter Vehicle Communication (IVC)*

Meng-install infrastruktur permanen di jalan raya seperti *access points*, *base stations* dapat menelan banyak biaya, maka komunikasi antar kendaraan (IVC) akan dibutuhkan untuk meningkatkan efektivitas cakupan jaringan kendaraan. Komunikasi IVC murni merupakan jaringan *ad hoc* dan banyak digunakan untuk aplikasi keamanan seperti peringatan keselamatan, informasi lalu lintas, peringatan penghalang jalan, dan lain-lain. Pada komunikasi ini, masing-masing kendaraan telah dilengkapi dengan *on board unit* seperti GPS (*Global Positioning System*). Kendaraan akan mendeteksi sendiri pesan lalu lintasnya dan berkomunikasi dengan kendaraan tetangga dengan mem-*broadcast beacon* atau pesan HELLO secara periodik [6].

2.5. *Position-Based Routing Protocol*

Position-Based Routing (PBR) menyajikan komunikasi *multihop* untuk *wireless ad hoc network*, di mana *node-node* saling berbagi informasi posisi untuk memilih *forwarding hop* berikutnya. Pada *routing* yang demikian, setiap *node* dianggap mengetahui posisi geografisnya masing-masing dengan bantuan GPS dan menjaga tabel lokasinya dengan ID dan informasi geografis dari *node-node* yang lain. Jika sebuah *node* ingin mengirim paket, sebuah *location service* dapat digunakan untuk membantu menentukan posisi dari tujuan. Paket dikirim ke tetangga satu *hop*-nya yang terletak paling dekat dengan tujuan. Untuk memungkinkan hal demikian, setiap *node* harus secara kontinu mengirimkan paket *beacon* lengkap dengan posisi mereka dan ID *node*-nya. Hal ini penting untuk membangun tabel tetangga satu-*hop* [7].

Demikian pula halnya pada kendaraan. Pada VANET, masing-masing kendaraan perlu tahu posisinya sendiri dan posisi kendaraan lainnya karena *position-based routing protocol* membutuhkan informasi mengenai lokasi fisik dari kendaraan yang tersedia untuk berpartisipasi dan ini diperoleh secara periodik dari *beacon* dari tetangga langsung atau dari perangkat *location service*.

2.6. *Greedy Perimeter Stateless Routing (GPSR)*

Pada *Greedy Perimeter Stateless Routing* (GPSR), sebuah *node* menemukan lokasi tetangganya menggunakan perangkat HELLO *messages* dan posisi tujuan dengan bantuan *location services*, sebagaimana yang tertera pada Gambar 2 GPSR membutuhkan tiap *node*-nya yang berada dalam jaringan untuk mampu menemukan posisi terkininya menggunakan GPS *receiver* yang menyediakan informasi terbaru mengenai kecepatan, waktu, dan arah kendaraan. Dengan informasi-informasi ini, sebuah *node* dapat mem-*forward* paket ke tetangganya yang terdekat dari tujuan. Mode operasi seperti ini dikenal sebagai *Greedy Forwarding* sebagaimana yang tertera pada [3] dan [8].

GPSR menerapkan *greedy forwarding* secara murni dan *void handling* sebagai strategi *recovery*-nya, atau dikenal dengan *perimeter routing* ketika *local optima* terjadi. *Node* yang memulai mode *perimeter* menyimpan posisi dirinya sendiri pada *header* paket. Jika sebuah *node* menerima paket yang demikian dan memiliki sebuah *node* tetangga yang lebih dekat ke tujuan dari pada posisi yang terdapat dalam *header*, maka mode akan kembali lagi menjadi mode *greedy routing*.

2.7. *Greedy Traffic Aware Routing (GyTAR)*

GyTAR merupakan protokol *routing* berbasis posisi *intersection* dalam rute pengiriman paket. GyTAR merepresentasikan skema *routing anchor-based* dengan *traffic aware*, sebagaimana yang tertera pada Gambar 3 GyTAR terdiri dari dua modul yang juga menjadi metode transmisi paket, yakni [3, 8]:

a. *Junction Selecti*

Pada GyTAR, persimpangan berbeda yang harus dilalui paket untuk menuju *node* tujuan dipilih satu per satu secara dinamis, mempertimbangkan variasi trafik kendaraan dan jarak ke tujuan. Ketika memilih persimpangan selanjutnya, sebuah *node* akan mencari posisi tetangga di persimpangan lain menggunakan peta. Sebuah nilai diberikan pada tiap-tiap persimpangan untuk mempertimbangkan kepadatan trafik dan jarak *curvetric* ke tujuan. Persimpangan tujuan terbaik (persimpangan dengan nilai terbesar) adalah persimpangan yang secara geografis paling dekat dengan kendaraan tujuan dan yang memiliki trafik kendaraan tertinggi. Pada Gambar 4 digambarkan bagaimana persimpangan

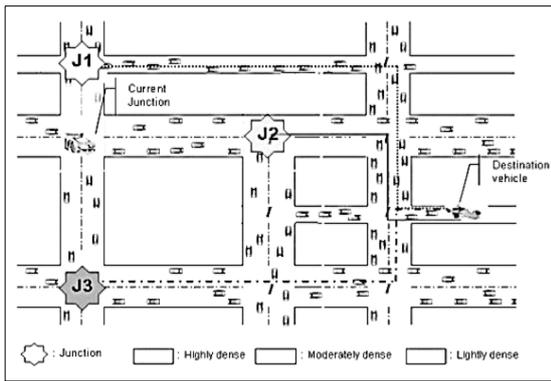
selanjutnya dipilih pada sebuah jalan. Suatu ketika kendaraan menerima paket, ia akan menghitung nilai dari masing-masing tetangga persimpangannya. Dengan memperhitungkan jarak *curvemetric* ke tujuan dan kepadatan trafik, persimpangan J2 memiliki nilai yang lebih besar. Maka itu, persimpangan ini dipilih sebagai *anchor* selanjutnya.

b. *Strategi recovery*

Suatu ketika mekanisme GyTAR membawa pada kondisinya lokal optimum (ketika *forwarding vehicle*-lah yang lebih dekat dengan persimpangan), maka strategi *recovery* diterapkan. Strategi *recovery* ini dikenal sebagai “*carry and forward*”, yakni *node* pembawa paket akan membawa paket sampai persimpangan berikutnya atau sampai ada *node* kendaraan lain yang lebih dekat dengan *node* tujuan masuk ke dalam radius transmisinya.

2.8. Simulasi VANET

Simulasi VANET memerlukan dua tipe komponen simulasi, yakni jaringan dan mobilitas. Pada banyak kasus, simulator jaringan dan simulator



Gambar 4. Pemilihan Persimpangan pada GyTAR [8]

Tabel 1. Parameter Umum Simulasi

Parameter	Nilai
Area Simulasi	12,5km x 9,5km (kota) dan 15km x 12,5km (jalan tol)
Jumlah Kendaraan	100
Jumlah Komunikasi	10, 20, 30
Packet Type	CBR, FTP, RTP
Rata-rata Kecepatan Kendaraan	30-50 km/jam (kota) dan 60 - 100 km/jam (jalan tol)
Transmission Range	250 m
Hello Interval	0,5 s
	802.11 DCF
	300s

Tabel 2. Spesifikasi Layanan

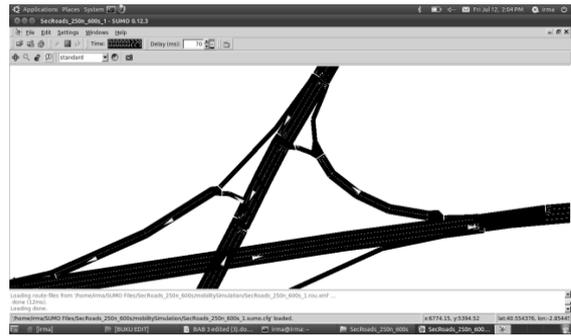
Layanan	Spesifikasi
Data	<ul style="list-style-type: none"> File Size: 1024 bytes Data Rate: 64 kbps Type of Service: File transfer
Suara	<ul style="list-style-type: none"> File Size: 206 bytes Data Rate: 64 kbps Type of Service: Voice over IP (VoIP)
Video	<ul style="list-style-type: none"> File Size: 500 bytes Data Rate: 128 kbps Type of Service: Video Streaming

mobilitas dibuat terpisah. *Software* simulator untuk VANET ini dikelompokkan menjadi tiga kategori: (a) *Mobility Simulator*; (b) *Network Simulator*; dan (c) *Software* yang mengintegrasikan keduanya atau yang mampu mensimulasikan baik simulasi mobilitas maupun simulasi jaringan.

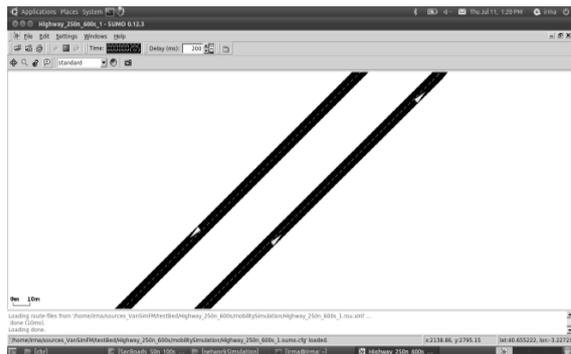
Pada penelitian ini, konfigurasi peta dan mobilitas dilakukan menggunakan VanSimFM (*VANET Simulation Framework Modeller*) yang bekerja di atas simulator *micro-traffic* SUMO (*Simulation of Urban Mobility*). Keluarannya berupa *Tcl script* kemudian di-generate bersama protokol *routing* menggunakan *network simulator* NS-2 untuk dianalisis masing-masing performansinya.

3. Perancangan Sistem

Pada penelitian ini menggunakan dua skenario lingkungan dalam menganalisis protokol *routing* GPSR dan GyTAR, yakni lingkungan perkotaan dan jalan tol. Adapun parameter simulasi yang digunakan secara umum tersaji pada Tabel 1. Sedangkan untuk trafik yang dikirimkan dari *node* sumber ke *node* tujuan pada simulasi ini meliputi data, suara dan video. Dengan spesifikasi dari tiap layanan tertera pada Tabel 2.



Gambar 5. Tampilan Mobilitas Peta Perkotaan



Gambar 6. Tampilan Mobilitas Peta Jalan Tol

Tabel 3. End-to-end Delay GPSR dan GyTAR di Perkotaan

End-to-end Delay (ms)	Komunikasi Node	10			20			30		
		Data	Suara	Video	Data	Suara	Video	Data	Suara	Video
	GPSR	Data	2,5012	2,6620	2,8059					
		Suara	2,3831	2,5259	2,7232					
		Video	2,6162	2,7016	2,8231					
	GyTAR	Data	2,2432	2,2857	2,3538					
		Suara	2,1372	2,1412	2,2774					
		Video	2,3513	2,3985	2,5479					

3.1. Skenario Lingkungan

Adapun beberapa skenario yang dilakukan dalam penelitian ini, antara lain:

a. Lingkungan Perkotaan

Pada skenario lingkungan perkotaan yang tertera pada Gambar 5, digunakan peta sektoral dari wilayah kota Banjar, Jawa Barat dengan luas $12,5 \text{ km} \times 9,5 \text{ km}$ dengan jumlah *node* sebanyak 100 *node* kendaraan untuk waktu simulasi selama 300 detik. Adapun arah dan kecepatan pergerakan masing-masing *random* dengan *range* kecepatan berkisar antara 30 – 50 km per jam dan jumlah komunikasi yang dibangun berturut-turut sebanyak 10, 20, dan 30 koneksi. Pada skenario ini diterapkan mekanisme lampu lalu lintas sebagaimana kondisi nyata di perkotaan.

b. Lingkungan Jalan Tol

Pada skenario jalan tol, sebagaimana yang tertera pada Gambar 6, digunakan peta sektoral jalan tol Cipularang, Jawa Barat, Indonesia, pada jalur Sadang – Cikamuning, dengan luas $15 \text{ km} \times 12,5 \text{ km}$. Peta jalan tol ini terdiri dari dua jalur searah dengan kondisi jalan lurus tanpa ada persimpangan. Jumlah kendaraan yang bergerak di atas peta ini yakni sebanyak 100 *node* kendaraan dengan waktu simulasi 300 detik.

Adapun *node-node* tiap kendaraan bergerak dengan arah dan kecepatan pergerakan yang *random* dengan kisaran kecepatan 60 – 100 km per jam. Jumlah koneksi yang terjadi berturut-turut sebanyak 10, 20, dan 30 komunikasi.

4. Hasil Simulasi dan Analisis

4.1. Analisis Skenario Lingkungan Perkotaan

4.1.1. Analisis End-to-End Delay

Berdasarkan skenario lingkungan perkotaan dengan jumlah *node* kendaraan sebanyak 100 dan jumlah koneksi yang terjadi masing-masing sebanyak 10, 20, 30, 40, dan 50 komunikasi, didapatkan nilai *end-to-end delay* untuk protokol routing GPSR dan GyTAR dapat terlihat di Tabel 3.

Dari Tabel 3 terlihat bahwa pada kedua protokol routing baik GPSR maupun GyTAR, terjadi peningkatan nilai *average end-to-end delay* sebesar kisaran 0,004 ms sampai 0,1973 ms seiring dengan bertambahnya jumlah komunikasi antar *node* kendaraan yang terjadi. Perubahan nilai secara gradual yang relatif tipis menunjukkan bahwa kedua algoritma routing cukup adaptif pada *vehicular network* yang memiliki mobilitas dan konektivitas yang tinggi.

Kedua protokol routing menunjukkan perbedaan yang konsisten pada nilai *end-to-end delay*

untuk layanan data, suara, dan video dengan GyTAR yang terus mengungguli GPSR. Adapun nilai *end-to-end delay* pada komunikasi data menggunakan algoritma routing GPSR untuk jumlah koneksi masing-masing 10, 20, dan 30 adalah 2,5012 ms, 2,6620 ms, dan 2,8059 ms. Sedangkan komunikasi data pada GyTAR unggul sekitar 0,3620 ms lebih cepat dari rata-rata perolehan GPSR, dengan nilai masing-masing 2,2432 ms, 2,2857 ms, dan 2,3538 ms.

End-to-end delay terjadi karena ketika jumlah komunikasi bertambah, *node-node* kendaraan lain sebagai perantara untuk mengirimkan layanan dari *node* sumber ke *node* tujuan cenderung semakin banyak yang terpakai sehingga paket-paket dari layanan harus melalui *buffer*, menyebabkan waktu pengiriman menjadi semakin lama. Terlebih, dalam skenario perkotaan, mekanisme lampu lalu lintas berdampak pada efek *clustering*, dimana sekumpulan kendaraan pada ruas persimpangan tertentu berkumpul untuk menunggu lampu berubah hijau menyebabkan tingginya kepadatan *node* dan *delay* yang diperlukan.

Berdasarkan keseluruhan perolehan *end-to-end delay* tersebut, GyTAR mengungguli GPSR secara konsisten pada skenario lingkungan perkotaan, membuktikan bahwa mekanisme routing berbasis persimpangan sangat cocok diaplikasikan dan dioptimasi pada lingkungan perkotaan yang memang terdapat banyak persimpangan.

GyTAR lebih adaptif pada lingkungan perkotaan mengingat pertimbangan keputusan routing-nya yang didasarkan pada kepadatan trafik yang memanfaatkan kondisi ramainya kendaraan di persimpangan sebagai alternatif *forwarding node* dan *curve metric next hop* yang lebih dekat dengan *node* tujuan. Pertimbangan ini dapat mengurangi kemungkinan terjadinya *local optima*, tidak seperti algoritma routing GPSR yang menerapkan *greedy routing* secara murni hanya mempertimbangkan posisi tetangga yang terdekat dengan tujuan. Terlebih, ketika mode *recovery* GPSR atau mode perimeter diterapkan pada kondisi *local optima*, dapat menyebabkan waktu yang dibutuhkan paket hingga mencapai tujuan menjadi lebih besar.

4.1.2. Analisis Packet Delivery Ratio

Dari data yang diperoleh pada Tabel 4, terlihat perbandingan rata-rata pengiriman sukses atau *packet delivery ratio* pada GyTAR di lingkungan perkotaan lebih baik dibandingkan performansi GPSR. Nilai *packet delivery ratio* protokol routing GyTAR stabil di kisaran 0,78 ke atas untuk semua jenis komunikasi. Adapun untuk komunikasi data dengan jumlah koneksi masing-masing 10, 20, dan 30, GyTAR memiliki perolehan PDR sebesar 0,9697, 0,9559, dan 0,9487. Nilai ini unggul sekitar 0,010 dari rata-rata *packet delivery ratio* pada GPSR yang masing-masing komunikasinya memiliki nilai sebesar 0,9492, 0,9475, dan 0,9471.

Pada skenario perkotaan dengan mekanisme lampu lalu lintas ini, GPSR memperoleh nilai PDR yang lebih kecil dikarenakan penerapan perimeter mode sebagai strategi ketika *local optima* terjadi—sebagai contoh ketika *forwarding node* tersendat di persimpangan jalan dengan menunggu lampu sampai hijau untuk berjalan—membuat paket dikirim secara bertahap ke *node-node* tetangganya yang dekat justru memakan waktu lebih lama untuk sampai ke *node* tujuan.

Berbeda dengan GyTAR yang justru mengambil manfaat dari karakteristik lingkungan perkotaan sehingga mampu memberikan performansi kesuksesan pengiriman yang jauh lebih baik. Keberadaan persimpangan dan keberadaan lampu lalu lintas dimanfaatkan *greedy traffic aware routing* ini sebagai pertimbangan pemilihan. Semakin padat jumlah kendaraan yang ada di sebuah persimpangan, semakin kecil kemungkinan terjadinya *void* atau semakin banyak alternatif *forwarding node*.

Demikian ketika terjadi kondisi *local optima*, GyTAR akan menerapkan strategi *carry and forward* yakni paket akan dibawa *node* kendaraan terkini sampai lampu hijau atau mobil berjalan dan ia menemukan *node* tetangganya yang berada di persimpangan atau berada lebih dekat ke persimpangan selanjutnya. Secara berkebalikan, GPSR yang memilih *next hop* secara murni dengan pertimbangan jarak yang paling dekat dengan *node* tujuan justru dirugikan dengan kondisi terhenti pada lampu lalu lintas ini, sebab pemilihan *node* diambil dari sekumpulan kendaraan yang statis dengan posisi relatif saling berdekatan, sehingga perpindahan paket antar *node* tipis selisih jaraknya.

Tabel 4. Packet Delivery Ratio GPSR dan GyTAR di Perkotaan

Packet Delivery Ratio	Komunikasi Node		10	20	30
	GPSR	Data	0,9492	0,9475	0,9471
Suara		0,8236	0,7937	0,7684	
Video		0,9488	0,9431	0,9326	
GyTAR	Data	0,9697	0,9559	0,9487	
	Suara	0,8578	0,8223	0,7868	
	Video	0,9543	0,9506	0,9372	

Tabel 5. Packet Loss GPSR dan GyTAR di Perkotaan

Packet Loss (%)	Komunikasi Node		10	20	30
	GPSR	Data	5,08	5,25	5,29
Suara		17,64	20,63	23,16	
Video		5,12	5,69	6,74	
GyTAR	Data	3,03	4,41	5,13	
	Suara	14,22	17,77	21,32	
	Video	4,57	4,94	6,28	

Tabel 6. NRO GPSR dan GyTAR di Perkotaan

NRO	Komunikasi Node		10	20	30
	GPSR	Data	0,340	0,571	0,750
Suara		0,478	0,588	0,822	
Video		1,005	1,010	1,019	
GyTAR	Data	0,313	0,513	0,620	
	Suara	0,550	0,553	0,600	
	Video	1,004	1,005	1,007	

4.1.3. Analisis Packet Loss

Secara konsisten dari perolehan data *end-to-end delay* dan *packet delivery ratio* sebelumnya, Tabel 5 menunjukkan konsistensi keunggulan performansi protokol *routing* GyTAR dari parameter *packet loss* pada skenario lingkungan perkotaan. GyTAR mengungguli GPSR dalam besaran *packet loss* dengan nilai yang berkisar dari 3,03% sampai 21,32%, sementara GPSR lebih banyak mengalami *packet loss* dengan kisaran dari 5,08% sampai 23,16%.

Kedua algoritma *greedy routing* ini secara umum dipastikan memiliki probabilitas terjadinya *packet loss* setiap kali membangun hubungan komunikasi di antara *node* kendaraan dengan mobilitas yang sangat dinamis ini. Ketika algoritma *greedy routing* memilih *next hop* dengan pertimbangan jarak yang terdekat dari *node* tujuan, sebetulnya secara langsung juga membawa kepada masalah kemungkinan pemilihan *node* yang berada dalam ambang batas radius transmisi.

Adapun mekanisme pemilihan berdasarkan persimpangan terdekat yang diutamakan GyTAR menjadi alasan dasar lebih unggulnya performansi GyTAR dibandingkan GPSR. Hal ini karena mekanisme ini lebih adaptif dengan keadaan nyata di lingkungan perkotaan yang memang terdapat banyak persimpangan.

Masalah pada GyTAR yang membawa pada *packet loss* dapat terjadi pada kondisi ketika radius transmisi jauh lebih kecil dibandingkan jarak antara dua persimpangan yang berurutan. Walaupun demikian, sebenarnya sudah diperkecil dengan strategi *recovery* “*carry and forward*”—sebagaimana GPSR pun memiliki strategi *recovery* berupa mode perimeter setiap *local optima* terjadi.

4.1.4. Analisis Normalized Routing Overhead

Routing overhead pada protokol *routing* berbasis posisi ini berasal dari *beacon* atau pesan *hello* yang dikirim secara periodik untuk mengetahui posisi terkini dari *node-node* tetangga dalam radius transmisinya dan informasi yang ikut dikirim bersamaan dengan paket. GPSR menelan lebih banyak nilai *normalized routing overhead* ketika melakukan mekanisme *recovery*-nya, yaitu mode perimeter.

Pada mode ini, paket dikirim secara lebih sering atau bertahap dengan *node-node* yang berdekatan, menyebabkan pertukaran informasi yang terjadi pun menjadi semakin meningkat—berbeda dengan algoritma GyTAR yang melakukan strategi *recovery*-nya dengan *carry and forward* di mana paket terus dibawa oleh kendaraan terkini sampai ia menemukan *node* kendaraan yang dinilai lebih tepat, jadi proses transfer paket pun akan lebih minim. Nilai NRO pada GPSR yang lebih besar dibandingkan dengan perolehan NRO pada GyTAR ini mengindikasikan bahwa performansi GyTAR dalam hal pembebanan

trafik di jaringan masih lebih baik dibandingkan dengan GPSR, sebagaimana yang tertera pada Tabel 6.

4.2. Analisis Skenario Lingkungan Jalan Tol

4.2.1. Analisis End-to-End Delay

Sebagaimana tersaji pada Tabel 7, bahwa nilai *end-to-end delay* GyTAR lebih besar dibandingkan dengan *end-to-end delay* pada GPSR atau dengan kata lain, GPSR memberi performansi *end-to-end delay* yang lebih unggul dibandingkan GyTAR pada skenario lingkungan jalan tol.

Seperti dijelaskan sebelumnya, GPSR mengungguli GyTAR pada skenario jalan tol dengan nilai *end-to-end delay* yang lebih kecil. Hal ini menunjukkan bahwa algoritma *greedy routing* murni (GPSR) memiliki performansi yang lebih adaptif pada jalan tol dibandingkan GyTAR. Alasannya tak lain karena karakteristik GyTAR yang berdasarkan persimpangan dan pertimbangan akan kepadatan trafik secara geografis tidak sesuai dengan karakteristik fisik jalan tol. Pada peta jalan tol Cipularang yang digunakan ini, kondisi jalan adalah lurus dan searah tanpa ada persimpangan sehingga GyTAR tidak mampu mengoptimalkan mekanisme *routing*-nya pada lingkungan seperti ini dan akan lebih sering melakukan mode *recovery*-nya.

Tabel 7. End-to-end Delay GPSR dan GyTAR di Jalan Tol

End-to-End Delay	Komunikasi Node		10	20	30
	GPSR	Data	2,5013	2,6977	2,7187
		Suara	1,9249	2,0072	2,6982
		Video	2,3600	2,7611	2,9076
GyTAR	Data	3,0145	3,2000	3,2232	
	Suara	1,9955	2,3412	2,7213	
	Video	2,8342	3,3013	3,3218	

Tabel 8. Packet Delivery Ratio GPSR dan GyTAR di Jalan Tol

Packet Delivery Ratio	Komunikasi Node		10	20	30
	GPSR	Data	0,9289	0,9211	0,9123
		Suara	0,8000	0,7845	0,7667
		Video	0,8727	0,8703	0,8647
GyTAR	Data	0,9107	0,9036	0,8943	
	Suara	0,7833	0,7743	0,7530	
	Video	0,8611	0,8531	0,8520	

Tabel 9. Packet Loss GPSR dan GyTAR di Jalan Tol

Packet Loss (%)	Komunikasi Node		10	20	30
	GPSR	Data	7,11	7,89	8,77
		Suara	20	21,55	23,33
		Video	12,73	12,97	13,53
GyTAR	Data	8,93	9,64	10,57	
	Suara	21,67	22,57	24,7	
	Video	13,89	14,69	14,8	

Tabel 10. NRO GPSR dan GyTAR di Jalan Tol

NRO	Komunikasi Node		10	20	30
	GPSR	Data	2,169	2,278	2,356
		Suara	1,562	1,557	1,562
		Video	1,508	1,533	1,620
GyTAR	Data	1,701	1,732	1,744	
	Suara	0,589	0,630	0,979	
	Video	1,492	1,522	1,543	

Perolehan *end-to-end delay* kedua protokol *routing* pada lingkungan jalan tol ini bila dibandingkan dengan keseluruhan perolehan *end-to-end delay* pada lingkungan perkotaan sebelumnya, memiliki nilai yang lebih tinggi atau lebih buruk. Hal ini karena walaupun pada lingkungan jalan tol tiap *node* kendaraan bergerak dengan kecepatan yang lebih tinggi—pada simulasi ini di-*set* dalam kisaran 60-10 km per jam—posisi mereka satu sama lain saling berjauhan sehingga entitas jaringan menjadi longgar dan kemungkinan *neighboring table* yang dimiliki sebuah *node* untuk berubah dalam waktu singkat (*outdated*) pun menjadi lebih besar, sehingga perlu menunggu *forwarding node* berikutnya untuk dapat mentransmit paket.

4.2.2. Analisis Packet Delivery Ratio

Sebagaimana tersaji pada Tabel 8, bahwa *packet delivery ratio* GPSR—masih secara konsisten dengan perolehan *end-to-end delay*—memberi nilai yang lebih baik dibandingkan dengan GyTAR.

Semakin bertambahnya jumlah komunikasi antar *node*, nilai *packet delivery ratio* semakin berkurang nilainya, baik pada GPSR maupun pada GyTAR. Hal ini dikarenakan kondisi jaringan di jalan tol yang relatif longgar menyebabkan terbatasnya utilitas *node* pada lingkungan ini. Kemungkinan *neighboring node* yang berada dalam radius transmisi dalam waktu singkat pun memperbesar kemungkinan *outdated*-nya *neighbor table* yang dimiliki sebuah *node* sehingga ketika paket dikirim, *next hop* dapat saja menghilang atau *unreachable* menyebabkan sebuah *failure* pada komunikasi—jika strategi *recovery* pun gagal diimplementasikan.

Perolehan rasio kesuksesan pengiriman pada lingkungan jalan tol ini secara keseluruhan lebih rendah dibandingkan PDR pada skenario perkotaan. Hal ini dipengaruhi oleh kondisi kelanggangan trafik yang menjadi faktor terhambatnya proses *forwarding node* karena proses penentuan *next hop* pada *node* tetangganya menjadi sangat terbatas pada kedua *greedy routing* ini, terlebih untuk metode *routing* GyTAR yang berbasis persimpangan.

Sesuai dengan perolehan data pada Tabel 9, yakni *end-to-end delay* dan *packet delivery ratio*, nilai *packet loss* protokol *routing* GPSR pun lebih kecil dibandingkan protokol *routing* GyTAR pada skenario lingkungan jalan tol.

4.2.3. Analisis Packet Loss

GPSR menangani kondisi *local optima* pada skenario jalan tol ini dengan mode perimeter, di mana algoritma ini akan terus berusaha mencari *node-node* yang berada di sekitarnya sebagai *forwarding node* hingga menemukan *node* yang jaraknya lebih dekat dengan tujuan. Mekanisme seperti ini lebih adaptif pada kondisi jalan tol yang arahnya dinamis karena paket difokuskan untuk terus diberikan pada *node* dengan posisi terdekat dengan tujuan. Berbeda

dengan penanganan *local optima* pada GyTAR yang melakukan proses *carry and forward*. Proses demikian akan membuat paket lebih lama dibawa oleh sebuah *forwarding node* hingga akhirnya ditemukan *node* tetangga yang memenuhi pertimbangan kepadatan trafik, atau baru kemudian berdasarkan besar *curvmetric* ke tujuan dimana kemungkinan ditemukannya *next hop* dengan mekanisme ini kecil jika pada lingkungan lalu lintas jalan tol. Mekanisme yang demikian mempengaruhi performansi *packet loss* pada GPSR sehingga mengungguli GyTAR pada skenario lingkungan jalan tol.

4.2.4. Analisis Normalized Routing Overhead

Walaupun untuk metrik performansi sebelumnya berupa *delay*, *packet delivery ratio*, dan *packet loss* untuk lingkungan jalan tol diungguli oleh GPSR, namun besarnya *routing overhead* pada GPSR tetap lebih besar dibandingkan dengan GyTAR.

Berdasarkan perolehan data yang tersaji pada Tabel 10 bahwa *Normalized Routing Overhead* (NRO) GyTAR berkisar antara 0,589 hingga 1,744, sementara GPSR memiliki kisaran yang lebih tinggi yaitu dari 1,508 hingga 2,356.

Dibandingkan dengan skenario perkotaan, *normalized routing overhead* ini, baik pada GPSR ataupun GyTAR, memiliki nilai yang lebih besar dibandingkan dengan skenario lingkungan jalan tol ini. Hal ini dikarenakan kondisi jalan tol yang relatif lengang dan terbatas ketersediaan *node-node* kendaraan tetangga sebagai *forwarding mode*-nya menyebabkan kondisi *local optimum* lebih rentan terjadi. Ketika kondisi ini terjadi, paket akan berada dalam mode *recovery* dan terus mencari informasi terkini hingga *forwarding node* yang tepat sebagaimana mekanisme utamanya bekerja berhasil ditemukan.

Nilai NRO pada GPSR yang lebih besar dibandingkan dengan perolehan NRO pada GyTAR ini mengindikasikan bahwa performansi GyTAR dalam hal pembebanan trafik di jaringan pada lingkungan jalan tol masih lebih baik dibandingkan dengan GPSR.

5. Kesimpulan

Kesimpulan yang dapat diambil dari hasil penelitian dan analisis yang telah dilakukan adalah:

a. *Greedy Traffic Aware Routing Protocol* (GyTAR) memiliki performansi yang lebih baik pada skenario perkotaan dibandingkan GPSR dilihat dari seluruh parameter *end-to-end delay*, *packet delivery ratio*, *packet loss*, dan *normalized routing overhead* yang lebih baik dari GPSR dengan besar rata-rata nilai masing-masing untuk layanan data yakni 2,294 ms, 0,958, 4,19%, dan 0,482; untuk layanan suara sebesar 2,185 ms, 0,8223, 17,77%, dan 0,567; serta untuk layanan

video sebesar 2,432 ms, 0,947, 5,26%, dan 1,005. *Greedy Perimeter Stateless Routing* (GPSR) memiliki metrik performansi yang lebih baik dibandingkan dengan GyTAR pada skenario jalan tol pada parameter *end-to-end delay*, *packet delivery ratio*, dan *packet loss* dengan besar rata-rata nilai masing-masingnya untuk layanan data sebesar 2,639 ms, 0,920, dan 7,923%; untuk layanan suara sebesar 2,2101 ms, 0,783, 21,62%; serta untuk layanan video sebesar 2,6762 ms, 0,869, 13,07%.

- b. Nilai *normalized routing overhead* (NRO) pada kedua skenario lingkungan diungguli oleh GyTAR dengan perolehan rata-rata di masing-masing lingkungan perkotaan dan jalan tol sebesar 0,685 dan 1,326.
- c. Bertambahnya jumlah komunikasi yang dibangun sebanding dengan degradasi kualitas atau performansi masing-masing protokol *routing*.

Daftar Pustaka

- [1] Braga, R. B. dan Hervé Martin, "Understanding Geographic Routing in Vehicular Ad Hoc Networks", The Third International Conference on Advanced Geographic Information Systems, Applications, and Services, 2011.
- [2] Gadkari, Mushtak Y. dan Nitin B. Sambre. 2011, "VANET: Routing Protocols, Security Issues and Simulation Tools", IOSR Journal of Computer Engineering (IOSRJCE), ISSN: 2278-0661, Volume 3, Issue 3, PP 28-38 July-Agustus 2012.
- [3] Jerbi, Moez, Rabah Meraihi, Sidi-Mohammed Senouci, dan Yacine Ghamri-Doudane, "Traffic Aware Geographic Routing Protocol for Vehicular Networks in City Environments", France: Networks and Multimedia Systems Research Group, 2006.
- [4] Jerbi, Moez, Rabah Meraihi, Sidi-Mohammed Senouci, dan Yacine Ghamri-Doudane, "GyTAR: Improved Greedy Traffic Aware Routing Protocol for Vehicular Ad Hoc Networks in City Environments", VANET '06: Proceedings of the 3rd International Workshop on Vehicular Ad Hoc Networks, New York, 2006.
- [5] Munera, J., J. M. de Fuentes, A. I. González-Tablas, "Towards a Comparable Evaluation for VANET Protocols: NS-2 Experiments Builder Assistant and Extensible Test Bed", Computer Science Dept. University Carlos III of Madrid, Spain, 2011.
- [6] Mustafa, Bilal dan Umar Waqas Raja, "Issues of Routing in VANET", Master Thesis, Swedia: Blekinge Institute of Technology, Juni 2010.
- [7] Raw, Ram Shringar dan Sanjoy Das, "Performance Comparison of Position-Based Routing Protocols in Vehicle-to-Vehicle (V2V) Communication", International Journal of

- Engineering Science and Technology (IJEST), New Delhi: Jawaharlal Nehru University, 2011.
- [8] Schnauffer, Sascha, Holger Füßler, Matthias Transier, dan Wolfgang Effelsberg, “*Unicast Ad-Hoc Routing in Vehicular City Scenarios*”, Germany: University of Mannheim, 2007.
- [9] Singh, Pranav Kumar dan Kapang Lego, “*Towards the Analysis of Adhoc Routing Protocol in VANET Environment*”, Int. J. Open Problems Compt. Math., Vol. 3, No. 5, India, Desember 2010.
- [10] Watfa, Mohammed, “*Advances in Vehicular Ad-Hoc Networks: Development and Challenges*”, Master Thesis, University of Wollongong, UAE, Information Science Reference (an imprint of IGI Global), Hershey – New York, 2010.
- [11] Zeadally, Sherali, Ray Hunt, Yuh-Shyan Chen, Angela Irwin, dan Aamir Hassan, “*Vehicular Ad Hoc Networks (VANETS): Status, Results, and Challenges*”, USA: Springer Science+Business Media, LLC, 2010.