repository.ub.ac.id

ANALISIS KINERJA PROTOKOL *ROUTING AD HOC ON DEMAND DISTANCE VECTOR* (AODV) PADA JARINGAN *VEHICULAR AD HOC NETWORK* (VANET) BERDASARKAN VARIASI MODEL JALAN

SKRIPSI

Untuk memenuhi sebagian persyaratan
memperoleh gelar Sarjana Komputer

Disusun oleh:
Dedy Andrean Ardiansyah
NIM: 145150200111116

PROGRAM STUDI TEKNIK INFORMATIKA
JURUSAN TEKNIK INFORMATIKA
FAKULTAS ILMU KOMPUTER
UNIVERSITAS BRAWIJAYA
MALANG
2018

UNIVERSITAS BRAWIJAYA

repository.ub.ac.id

PENGESAHAN

ANALISIS KINERJA PROTOKOL *ROUTING AD HOC ON DEMAND DISTANCE VECTOR* (AODV) PADA JARINGAN *VEHICULAR AD HOC NETWORK* (VANET) BERDASARKAN VARIASI MODEL JALAN

SKRIPSI

Diajukan untuk memenuhi sebagian persyaratan
memperoleh gelar Sarjana Komputer

Disusun Oleh :
Dedy Andrean Ardiansyah
NIM: 145150200111116

Skripsi ini telah diuji dan dinyatakan lulus pada
4 Desember 2018
Telah diperiksa dan disetujui oleh:

Dosen Pembimbing I	Dosen Pembimbing II
Rakhmadhany Primananda, S.T, M.Kom	Adhitya Bhawiyuga, S.Kom, M.Sc
NIK: 201609 860406 1 001	NIP: 19890720 201803 1 002

Mengetahui
Ketua Jurusan Teknik Informatika

Tri Astoto Kurniawan, S.T, M.T, Ph.D
NIP: 19710518 200312 1 001

UNIVERSITAS BRAWIJAYA

repository.ub.ac.id

PERNYATAAN ORISINALITAS

Saya menyatakan dengan sebenar-benarnya bahwa sepanjang pengetahuan saya, di dalam naskah skripsi ini tidak terdapat karya ilmiah yang pernah diajukan oleh orang lain untuk memperoleh gelar akademik di suatu perguruan tinggi, dan tidak terdapat karya atau pendapat yang pernah ditulis atau diterbitkan oleh orang lain, kecuali yang secara tertulis disitasi dalam naskah ini dan disebutkan dalam daftar pustaka.

Apabila ternyata didalam naskah skripsi ini dapat dibuktikan terdapat unsur-unsur plagiasi, saya bersedia skripsi ini digugurkan dan gelar akademik yang telah saya peroleh (sarjana) dibatalkan, serta diproses sesuai dengan peraturan perundang-undangan yang berlaku (UU No. 20 Tahun 2003, Pasal 25 ayat 2 dan Pasal 70).

Malang, 12 Desember 2018

Dedy Andrean Ardiansyah

NIM: 145150200111116

UNIVERSITAS BRAWIJAYA

repository.ub.ac.id

KATA PENGANTAR

Assalamu'alaikum Wr. Wb. Puji syukur penulis panjatkan kehadirat Allah SWT atas limpahan rahmat dan karunia-Nya sehingga skripsi ini dapat terselesaikan dengan baik. Shalawat serta salam semoga tetap tercurahkan kepada Rasulullah Muhammad SAW.

Penulisan skripsi ini disusun sebagai salah satu syarat untuk mendapatkan gelar Sarjana Komputer pada Program Studi Teknik Informatika Keminatan Komputasi Berbasis Jaringan, Fakultas Ilmu Komputer, Universitas Brawijaya. Judul skripsi yang diajukan penulis adalah **"Analisis Kinerja Protokol *Routing Ad Hoc on Demand Distance Vector* (AODV) Pada Jaringan *Vehicular Ad Hoc Network* (VANET) Berdasarkan Variasi Model Jalan"**.

Penulis menyadari bahwa tanpa bantuan, bimbingan serta dorongan dari semua pihak, penyelesaian skripsi ini tidak mungkin dapat terwujudkan. Pada bagian ini penulis menyampaikan ucapan rasa terima kasih yang sebesar-besarnya kepada:

1. Kedua orang tua tercinta Bapak Nur Rodli dan Ibu Siti Sholikhah yang selalu memberikan kasih sayang, do'a serta dukungan tiada henti. Seluruh keluarga yang telah memberi semangat dari awal hingga akhir.

2. Bapak Rakhmadhany Primananda, S.T, M.Kom selaku Dosen Pembimbing I yang telah memberikan bimbingan, ilmu, motivasi dan saran dalam penyusunan skripsi ini.

3. Bapak Adhitya Bhawiyuga, S.Kom, M.Sc selaku Dosen Pembimbing II yang telah memberikan bimbingan, ilmu, motivasi dan saran dalam penyusunan skripsi ini.

4. Bapak Wayan Firdaus Mahmudy, S.Si, M.T, Ph.D selaku Dekan Fakultas Ilmu Komputer Universitas Brawijaya.

5. Bapak Tri Astoto Kurniawan, S.T, M.T, Ph.D selaku Ketua Jurusan Teknik Informatika Fakultas Ilmu Komputer Universitas Brawijaya.

6. Bapak Agus Wahyu Widodo, S.T, M.Cs selaku Ketua Program Studi Teknik Informatika Fakultas Ilmu Komputer Universitas Brawijaya.

7. Seluruh jajaran dosen Teknik Informatika yang telah bersedia memberikan ilmu dan wawasannya kepada penulis selama masa studi dan penelitian skripsi.

UNIVERSITAS BRAWIJAYA

8. Seluruh civitas akademik Fakultas Ilmu Komputer yang telah memberikan bantuan dan dukungan kepada penulis selama masa studi dan penelitian skripsi.

9. Semua teman-teman seperjuangan Teknik Informatika angkatan 2014 yang luar biasa, terima kasih atas segala hal-hal yang luar biasa dan semoga kita semakin menjadi lebih baik dan lebih bermanfaat di masa depan.

10. Seluruh pihak yang tidak dapat penulis sebutkan satu per satu, atas segala bantuan baik secara langsung dan tidak langsung demi terselesaikannya skripsi ini.

Semoga segala bantuan dan amal baik yang telah diberikan kepada penulis akan mendapatkan balasan yang berlipat ganda dari Allah SWT. Penulis menyadari sepenuhnya bahwa skripsi ini masih belum sempurna karena keterbatasan ilmu dan kekurangan-kekurangan lain yang terjadi selama pengerjaan skripsi. Oleh karena itu kritik dan saran senantiasa penulis harapkan dari berbagai pihak. Semoga skripsi ini dapat bermanfaat dan dapat digunakan untuk pengembangan lebih lanjut.

Wassalamu'alaikum Wr. Wb

Malang, 12 Desember 2018

Penulis

deandreanar@outlook.com

repository.ub.ac.id
UNIVERSITAS BRAWIJAYA

repository.ub.ac.id

ABSTRAK

VANET (*Vehicular Ad Hoc Network*) merupakan sebuah teknologi jaringan wireless hasil pengembangan dari MANET (*Mobile Ad Hoc Network*) yang dikhususkan untuk kendaraan bermotor. Penerapan utama teknologi VANET adalah untuk mewujudkan pengelolaan lalu lintas yang lebih baik dan aman. Namun dikarenakan mobilitas kendaraan yang cukup tinggi dan kondisi jalan yang bervariasi, maka permasalahan yang cukup serius dalam VANET adalah efisiensi proses pencarian dan mempertahankan rute jaringan. AODV (*Ad Hoc on Demand Distance Vector*) merupakan salah satu solusi dari masalah VANET yang merupakan salah satu protokol *routing* yang bersifat *reactive*. Variasi model jalan di Indonesia terbagi menjadi empat golongan berdasarkan kecepatan yang berlaku yaitu jalan bebas hambatan, jalan antar kota, jalan perkotaan dan jalan permukiman. Pada masing-masing lingkungan tersebut dilakukan pengujian simulasi dengan skenario perbedaan jumlah kendaraan. Simulasi tersebut dilakukan dengan menggunakan Network Simulator v2.35 (NS-2.35) dan SUMO sebagai *generator* mobilitas. Performansi AODV diukur berdasarkan parameter *average throughput*, *packet delivery ratio*, dan *end-to-end delay* secara berurutan. Hasil uji pada jalan bebas hambatan menghasilkan nilai 111,48 KBps, 40,99 %, 0,14676 detik. Hasil uji pada jalan antar kota 156,20 KBps, 58,08 %, 0,08036 detik. Hasil uji pada jalan perkotaan 210,07 KBps, 77.18 %, 0,05839 detik. Sedangkan hasil uji pada jalan permukiman 212,82 KBps, 77,27 %, 0,03362 detik. Dari hasil pengujian tersebut menunjukkan bahwa model jalan di Indonesia dengan kinerja protokol *routing* AODV pada jaringan VANET dari yang terbaik hingga yang terburuk secara berurutan adalah model jalan permukiman, model jalan perkotaan, model jalan antar kota, dan model jalan bebas hambatan.

Kata kunci: VANET, AODV, model jalan, Network Simulator v2.35, SUMO

UNIVERSITAS BRAWIJAYA

repository.ub.ac.id

ABSTRACT

VANET (Vehicular Ad Hoc Network) is a wireless network technology developed from MANET (Mobile Ad Hoc Network) which is devoted for motorized vehicles. The main application of VANET technology is to realize better and safer traffic management. However, due to the high mobility of vehicles and varying road conditions, the most serious problem in VANET is the efficiency of the search process and maintaining network routes. AODV (Ad Hoc on Demand Distance Vector) is one solution to the VANET problem which is one of the reactive routing protocols. Variations of road models in Indonesia are divided into four groups based on the prevailing speed namely the freeway, inter-city roads, urban roads and residential roads. In each of these environments a simulation test was carried out with a difference in the number of vehicles. The simulation is carried out using Network Simulator v2.35 (NS-2.35) and SUMO as mobility generator. AODV performance is measured based on the parameters of average throughput, packet delivery ratio, and end-to-end delay in sequence. Test result on the freeway resulted in 111.48 KBps, 40.99 %, 0.14676 seconds. Test result on inter-city roads 156.20 KBps, 58.08 %, 0.08036 seconds. Test result on urban roads 210.07 KBps, 77.18 %, 0.05839 seconds. Whereas test result on residential roads 212.82 KBps, 77.27 %, 0.03362 seconds. These results show that the road model in Indonesia with the performance of the AODV routing protocol on the VANET network from the best to the worst in sequence is a residential road model, an urban road model, an inter-city road model, and freeway model.

Keywords: *VANET, AODV, road models, Network Simulator v2.35, SUMO*

UNIVERSITAS BRAWIJAYA

DAFTAR ISI

PENGESAHAN i
PERNYATAAN ORISINALITAS ii
KATA PENGANTAR iii
ABSTRAK v
ABSTRACT vi
DAFTAR ISI vii
DAFTAR TABEL x
DAFTAR GAMBAR xi
DAFTAR LAMPIRAN xiii
BAB 1 PENDAHULUAN 1
1.1 Latar belakang 1
1.2 Rumusan masalah 3
1.3 Tujuan 3
1.4 Manfaat 3
1.5 Batasan masalah 3
1.6 Sistematika pembahasan 4
BAB 2 LANDASAN KEPUSTAKAAN 5
2.1 VANET (*Vehicular Ad Hoc Network*) 6
2.2 Mobilitas pada VANET 7
2.3 Protokol *Routing* Pada VANET 8
2.3.1 AODV (*Ad Hoc on Demand Distance Vector*) 9
2.4 Model Jalan di Indonesia 10
2.5 Network Simulator v2.35 (NS-2.35) 11
2.6 SUMO (*Simulation of Urban Mobility*) 12
2.7 OSM (*OpenStreetMap*) 12
2.8 Parameter Pengujian 13
BAB 3 METODOLOGI 15
3.1 Studi Literatur 16
3.2 Perancangan Lingkungan Pengujian 16
3.2.1 Perancangan Skenario Lokasi 17

repository.ub.ac.id
UNIVERSITAS BRAWIJAYA

3.2.2 Perancangan Skenario Pengujian 17
3.2.3 Perancangan Parameter Pengujian 17
3.3 Pengujian 17
3.4 Analisis 18
3.5 Kesimpulan 18
BAB 4 PERANCANGAN DAN IMPLEMENTASI 19
4.1 Perancangan Lingkungan Pengujian 19
4.1.1 Perancangan Skenario Lokasi 19
4.1.2 Perancangan Skenario Pengujian 21
4.1.3 Pengiriman Data 23
4.1.4 Perancangan Parameter Pengujian 23
4.2 Implementasi 24
4.2.1 Instalasi 24
4.2.2 Membangun Lingkungan Pengujian 26
4.2.3 Membentuk Mobilitas Kendaraan 28
4.2.4 Membentuk Simulasi 30
4.3 Penarikan Data 40
BAB 5 HASIL DAN PEMBAHASAN 42
5.1 Hasil Pengujian 42
5.1.1 Hasil Pengujian Model Jalan Bebas Hambatan 42
5.1.2 Hasil Pengujian Model Jalan Antar Kota 44
5.1.3 Hasil Pengujian Model Jalan Perkotaan 46
5.1.4 Hasil Pengujian Model Jalan Permukiman 48
5.2 Analisis Hasil 50
5.2.1 Analisis Kinerja AODV Terhadap Pertambahan Waktu 51
5.2.2 Analisis Kinerja AODV Terhadap Perbedaan Jumlah Node 61
BAB 6 Penutup 68
6.1 Kesimpulan 68
6.2 Saran 69
DAFTAR PUSTAKA 70
LAMPIRAN 73
A.1 *Source Code* 73

repository.ub.ac.id
UNIVERSITAS BRAWIJAYA

A.1.1 *File* mobility.tcl Sebagai Mobilitas Node/Kendaraan..... 73
A.1.2 *File* tester.tcl Untuk Pengiriman Data..... 74
A.1.3 *File* analyze.awk Untuk Penarikan Data Hasil Simulasi..... 77
A.2 Detail Hasil Pengujian 79
A.2.1 Model Jalan Bebas Hambatan..... 79
A.2.2 Model Jalan Antar Kota..... 80
A.2.3 Model Jalan Perkotaan..... 81
A.2.4 Model Jalan Permukiman 82

repository.ub.ac.id
UNIVERSITAS BRAWIJAYA

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Kajian Pustaka 5

Tabel 4.1 Parameter Simulasi 23

Tabel 5.1 Hasil rata-rata pengujian model jalan bebas hambatan 43

Tabel 5.2 Hasil rata-rata pengujian model jalan antar kota 45

Tabel 5.3 Hasil rata-rata pengujian model jalan perkotaan 47

Tabel 5.4 Hasil rata-rata pengujian model jalan permukiman 49

Tabel 5.5 Perbandingan nilai *average throughput* antar model jalan terhadap pertambahan waktu 51

Tabel 5.6 Perbandingan nilai *packet delivery ratio* antar model jalan terhadap pertambahan waktu 55

Tabel 5.7 Perbandingan nilai *end-to-end delay* antar model jalan terhadap pertambahan waktu 58

Tabel 5.8 Perbandingan nilai *average throughput* antar model jalan terhadap perbedaan jumlah node 61

Tabel 5.9 Perbandingan nilai *packet delivery ratio* antar model jalan terhadap perbedaan jumlah node 63

Tabel 5.10 Perbandingan nilai *end-to-end delay* antar model jalan terhadap perbedaan jumlah node 65

repository.ub.ac.id
UNIVERSITAS BRAWIJAYA

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Perbedaan mode komunikasi V2V dan V2I 6
Gambar 2.2 Kategori Arsitektur Pada VANET 7
Gambar 2.3 Kategori routing berdasarkan topologi 8
Gambar 2.4 Ilustrasi mekanisme kerja protokol *routing* AODV..... 10
Gambar 3.1 Diagram Alir Metodologi Skripsi..... 15
Gambar 4.1 Peta jalan bebas hambatan pada *OpenStreetMap* 27
Gambar 4.2 Peta jalan antar kota pada *OpenStreetMap*..... 27
Gambar 4.3 Peta jalan perkotaan pada *OpenStreetMap*..... 28
Gambar 4.4 Peta jalan permukiman pada *OpenStreetMap*..... 28
Gambar 4.5 Tampilan jalan bebas hambatan setelah diedit pada JOSM 31
Gambar 4.6 Animasi NAM pada jalan bebas hambatan dengan 100 node 32
Gambar 4.7 Animasi NAM pada jalan bebas hambatan dengan 200 node 32
Gambar 4.8 Animasi NAM pada jalan bebas hambatan dengan 300 node 33
Gambar 4.9 Tampilan jalan antar kota setelah diedit pada JOSM..... 33
Gambar 4.10 Animasi NAM pada jalan antar kota dengan 100 node 34
Gambar 4.11 Animasi NAM pada jalan antar kota dengan 200 node 35
Gambar 4.12 Animasi NAM pada jalan antar kota dengan 300 node 35
Gambar 4.13 Tampilan jalan perkotaan setelah diedit pada JOSM..... 36
Gambar 4.14 Animasi NAM pada jalan perkotaan dengan 100 node 37
Gambar 4.15 Animasi NAM pada jalan perkotaan dengan 200 node 37
Gambar 4.16 Animasi NAM pada jalan perkotaan dengan 300 node 38
Gambar 4.17 Tampilan jalan permukiman setelah diedit pada JOSM..... 38
Gambar 4.18 Animasi NAM pada jalan permukiman dengan 100 node 39
Gambar 4.19 Animasi NAM pada jalan permukiman dengan 200 node 40
Gambar 4.20 Animasi NAM pada jalan permukiman dengan 300 node 40
Gambar 5.1 Grafik nilai *average throughput* antar model jalan terhadap pertambahan waktu..... 53
Gambar 5.2 Grafik nilai *packet delivery ratio* antar model jalan terhadap pertambahan waktu..... 56
Gambar 5.3 Grafik nilai *end-to-end delay* antar model jalan terhadap pertambahan waktu..... 59

repository.ub.ac.id
UNIVERSITAS BRAWIJAYA

Gambar 5.4 Grafik nilai *average throughput* antar model jalan terhadap perbedaan jumlah node 62

Gambar 5.5 Grafik nilai *packet delivery ratio* antar model jalan terhadap perbedaan jumlah node 64

Gambar 5.6 Grafik nilai *end-to-end delay* antar model jalan terhadap perbedaan jumlah node 66

repository.ub.ac.id
UNIVERSITAS BRAWIJAYA

DAFTAR LAMPIRAN

A.1 *Source Code* 73
A.1.1 *File* mobility.tcl Sebagai Mobilitas Node/Kendaraan 73
A.1.2 *File* tester.tcl Untuk Pengiriman Data..... 74
A.1.3 *File* analyze.awk Untuk Penarikan Data Hasil Simulasi..... 77
A.2 Detail Hasil Pengujian..... 79
A.2.1 Model Jalan Bebas Hambatan 79
A.2.2 Model Jalan Antar Kota 80
A.2.3 Model Jalan Perkotaan 81
A.2.4 Model Jalan Permukiman 82

repository.ub.ac.id
UNIVERSITAS BRAWIJAYA

repository.ub.ac.id

BAB 1 PENDAHULUAN

1.1 Latar belakang

VANET (*Vehicular Ad Hoc Network*) merupakan sebuah teknologi jaringan *wireless* hasil pengembangan dari MANET (*Mobile Ad Hoc Network*) yang dikhususkan pada kendaraan bermotor dengan mobilitas yang tinggi sehingga menyebabkan sering terjadinya perubahan topologi jaringan secara tiba-tiba (Dixit et al., 2016). VANET disebut jaringan *ad hoc* dikarenakan jaringan *wireless* yang ada bisa terbentuk dan terhapuskan pada waktu acak tertentu sesuai dengan posisi lokasi dan arah laju kendaraan yang terus menerus bergerak. Komunikasi pada VANET bisa terbentuk secara langsung antara kendaraan satu dengan kendaraan lain dengan sebutan *Vehicle to Vehicle Communication* (V2V) atau terbentuk secara tidak langsung antara kendaraan dengan *road side unit* dengan kata lain disebut juga dengan *Vehicle to Infrasctructure Communication* (V2I) (Duduku et al., 2015).

Sebagian besar pengaplikasian dari VANET adalah untuk mewujudkan pengelolaan lalu lintas yang lebih aman dan lebih baik (Singh dan Agrawal, 2014). Lebih lanjut, VANET diharapkan mampu memberikan keamanan dan kenyamanan kepada pengemudi dan penumpang dalam kendaraan dengan memberikan keputusan-keputusan untuk menghindari terjadinya kecelakaan lalu lintas, menghindari kemacetan, dan memberikan peringatan terkait kondisi jalan di sekitarnya.

Untuk mewujudkan pengelolaan lalu lintas seperti yang diharapkan, maka jaringan VANET membutuhkan komunikasi pertukaran data yang efisien (Yu et al., 2011). Namun dikarenakan kondisi jalan yang bervariasi disertai dengan mobilitas kendaraan yang cukup tinggi, maka masalah yang cukup serius dalam VANET adalah efisiensi proses pencarian dan mempertahankan rute jaringan dengan baik. Masalah tersebut dapat diatasi dengan memanfaatkan protokol *routing* yang tepat sesuai dengan lingkungan yang diterapkan pada VANET.

Secara umum terdapat tiga kategori protokol pada jaringan VANET berdasarkan topologinya yaitu *reactive routing*, *proactive routing*, dan *hybrid routing* (Mustafa dan Raja, 2010). Ketiga jenis protokol *routing* tersebut memiliki mekanisme kerja berbeda yang menyebabkan perbedaan kualitas kinerja saat diterapkan pada lingkungan dengan kondisi yang berbeda. Salah satu contoh protokol *routing* pada VANET di antaranya adalah AODV (*Ad Hoc on Demand Distance Vector*) yang bersifat *reactive*, artinya AODV hanya akan bekerja dan menyimpan informasi routing ketika sedang dibutuhkan saja.

Secara singkat menurut Perkins et al. (2003), AODV membuat rute jaringan hanya ketika ada node yang melakukan inisiasi *request* sehingga memiliki nilai *routing overhead* yang lebih rendah dibandingkan protokol routing *proactive*. Adapun kinerja AODV secara singkat adalah dengan menggunakan mode komunikasi *single-path* yang di dalamnya terjadi dua fase utama yaitu fase *discovery* dan fase *maintaining*. Pesan *route request* (RREQ) akan dijalankan

UNIVERSITAS BRAWIJAYA

melalui jaringan ketika sebuah paket dikirimkan dari node asal ke node tujuan. Selanjutnya ketika node diantara node asal dan node tujuan mengetahui letak node tujuan atau node itu sendiri adalah node tujuan, maka node tersebut akan mengirimkan pesan *route reply* (RREP) kembali sebagai balasan menggunakan jalur baliknya atau *reverse path*. Namun jika suatu node *disconnected* terdeteksi, maka node tersebut akan melakukan *broadcast* pesan *route error* (RERR) yang mengandung daftar node yang *unreachable* disertai informasinya.

Pada penelitian yang dilakukan oleh Yasser et al. (2017), menyimpulkan bahwa pada percobaan perbandingan protokol *routing* jaringan VANET secara keseluruhan protokol *routing reactive* yaitu AODV menghasilkan kinerja yang paling baik dibandingkan prokokol *routing proactive* dan *hybrid* yang diujikan antara lain DSR (*Dynamic Source Routing*), OLSR (*Optimized Link State Routing*) dan GRP (*Geographic Routing Protocol*) dalam parameter *end-to-end delay* yaitu lama waktu tunggu untuk mengirimkan paket dari node asal menuju node tujuan, *load* atau beban kapasitas yang digunakan dan *retransmission attempt* yaitu percobaan pengulangan pengiriman paket karena *error*. Oleh karena itu, pada penelitian ini digunakan AODV sebagai pilihan protokol *routing* yang disimulasikan pada jaringan VANET.

Meskipun protokol *routing* AODV diklaim mampu menghasilkan kinerja yang lebih baik dibandingkan protokol *routing* lainnya, namun dikarenakan kondisi dan struktur jalan akan mempengaruhi pola pergerakan kendaraan maka kinerja protokol *routing* AODV akan sangat bergantung pada model jalan dan lingkungan yang dilaluinya (Yu et al., 2011). Meskipun protokol *routing* yang digunakan adalah sama yaitu AODV namun jika diterapkan pada model jalan yang berbeda maka kinerja yang dihasilkan akan berbeda pula antar model jalan satu dengan yang lain.

Di Indonesia, menurut Peraturan Menteri Perhubungan Republik Indonesia Nomor PM 111 Tahun 2015 tentang Tata Cara Penetapan Batas Kecepatan Pasal 3 Ayat 2 dan Pasal 3 Ayat 4 disebutkan bahwa ada empat model jalan berdasarkan aturan kecepatan yang berlaku (Kemenhub, 2015). Empat model jalan tersebut di antaranya jalan bebas hambatan dengan aturan kecepatan minimal 60 km/jam, dan kecepatan maksimal 100 km/jam, jalan antarkota dengan aturan kecepatan maksimal 80 km/jam, jalan kawasan perkotaan dengan aturan kecepatan maksimal 50 km/jam, dan jalan kawasan permukiman dengan aturan kecepatan 30 km/jam. Secara umum, karakteristik model jalan bebas hambatan adalah memiliki 3-4 ruas lajur di tiap jalurnya, minim persimpangan, dan hampir tidak ada lampu lalu lintas. Karakteristik model jalan antarkota umumnya memiliki 1-3 ruas lajur di tiap jalurnya, minim persimpangan, dan minim lampu lalu lintas. Karakteristik pada model jalan perkotaan biasanya memiliki 1-3 ruas lajur di tiap jalurnya, banyak persimpangan, dan banyak lampu lalu lintas. Sedangkan karakteristik model jalan permukiman umumnya memiliki 1-2 ruas lajur di tiap jalurnya, banyak persimpangan, dan hampir tidak ada lampu lalu lintas.

Berdasarkan keterangan di atas maka diperlukan analisis kinerja protokol *routing* AODV pada simulasi jaringan VANET berdasarkan variasi model jalan yang berlaku di Indonesia. Adapun pemodelan jalan dan mobilitas kendaraan dibentuk

repository.ub.ac.id
UNIVERSITAS BRAWIJAYA

secara simulasi dengan memanfaatkan aplikasi SUMO (*Simulation of Urban Mobility*) dan OSM (*OpenStreetMap*) sebagai peta jalan riilnya. Sedangkan analisis dilakukan secara simulasi menggunakan aplikasi Network Simulator v2.35 dengan mengunakan beberapa parameter pengujian sesuai *Quality of Service* VANET antara lain *packet delivery ratio* yaitu rasio perbandingan keberhasilan antara paket yang diterima dan paket yang dikirim*, end-to-end delay* yaitu waktu tunggu yang dibutuhkan untuk mengirimkan sebuah paket dari node asal ke node tujuan, dan parameter pengujian jaringan yang umum digunakan yaitu *average throughput* atau rata-rata besarnya paket yang dapat dikirimkan dalam waktu tertentu.

1.2 Rumusan masalah

Adapun rumusan masalah yang perlu dipecahkan pada penelitian ini yaitu sebagai berikut:

1. Bagaimana kinerja protokol *routing* AODV pada jaringan VANET yang disimulasikan pada masing-masing variasi model jalan di Indonesia?
2. Apa penyebab perbedaan variasi model jalan di Indonesia berpengaruh terhadap kinerja protokol routing AODV pada jaringan VANET?

1.3 Tujuan

Adapun tujuan yang dicapai pada penelitian ini yaitu sebagai berikut:

1. Memahami kinerja protokol *routing* AODV pada jaringan VANET yang disimulasikan pada masing-masing variasi model jalan di Indonesia.
2. Mencari tahu penyebab perbedaan variasi model jalan di Indonesia berpengaruh terhadap kinerja protokol *routing* AODV pada jaringan VANET.

1.4 Manfaat

Adapun manfaat yang dicapai pada penelitian ini yaitu sebagai berikut:

1. Mampu memahami kinerja protokol *routing* AODV pada jaringan VANET yang disimulasikan pada masing-masing variasi model jalan di Indonesia.
2. Mampu mengetahui penyebab perbedaan variasi model jalan di Indonesia berpengaruh terhadap kinerja protokol *routing* AODV pada jaringan VANET.

1.5 Batasan masalah

Supaya permasalahan yang dirumuskan dapat lebih terfokus, maka analisis penelitian akan dibatasi dalam hal berikut:

1. Peta yang digunakan adalah peta nyata/riil dari beberapa wilayah di Indonesia yang diambil dari OSM (*OpenStreetMap*).

repository.ub.ac.id
UNIVERSITAS BRAWIJAYA

2. Simulasi hanya terfokus pada model jalan beserta rambu lalu lintas yang ada dengan mengabaikan bangunan lain di sekitarnya.
3. Jaringan yang digunakan adalah *wireless* LAN (WLAN) IEEE 802.11b.
4. Jenis kendaraan yang disimulasikan adalah mobil pribadi.

1.6 Sistematika pembahasan

Pada bagian ini akan dijelaskan sistematika pembahasan sebagai berikut.

BAB I Pendahuluan

Bagian ini memuat latar belakang masalah, rumusan masalah, tujuan, manfaat, batasan masalah, dan sistematika penulisan.

BAB II Dasar Teori

Bagian ini menguraikan tentang dasar teori dan referensi yang mendasari VANET, protokol *routing* AODV, variasi model jalan di Indonesia dan beberapa *tool* simulasi protokol *routing* AODV pada jaringan VANET berdasarkan variasi model jalan di Indonesia.

BAB III Metodologi

Bagian ini membahas tentang metode yang digunakan dalam analisis kinerja protokol *routing* pada VANET berdasarkan variasi model jalan di Indonesia. Protokol *routing* yang diterapkan adalah AODV dengan menggunakan Network Simulator v2.35.

BAB IV Perancangan dan Implementasi

Bagian ini membahas rancangan skenario pengujian dan implementasi simulasi protokol *routing* AODV pada jaringan VANET berdasarkan variasi model jalan di Indonesia.

BAB V Pembahasan

Bagian ini memuat pembahasan dan analisis dari hasil pengujian terhadap protokol *routing* AODV pada jaringan VANET berdasarkan variasi model jalan di Indonesia menggunakan beberapa parameter pengujian *Quality of Service* pada VANET.

BAB VI Penutup

Bagian ini memuat kesimpulan yang diperoleh dari implementasi dan hasil analisis kinerja protokol *routing* AODV pada jaringan VANET berdasarkan variasi model jalan di Indonesia.

repository.ub.ac.id
UNIVERSITAS BRAWIJAYA

BAB 2 LANDASAN KEPUSTAKAAN

Sebagai bahan pertimbangan pada penelitian ini, dicantumkan beberapa hasil penelitian sebelumnya oleh beberapa peneliti seperti yang ditunjukkan pada Tabel 2.1 sebagai berikut.

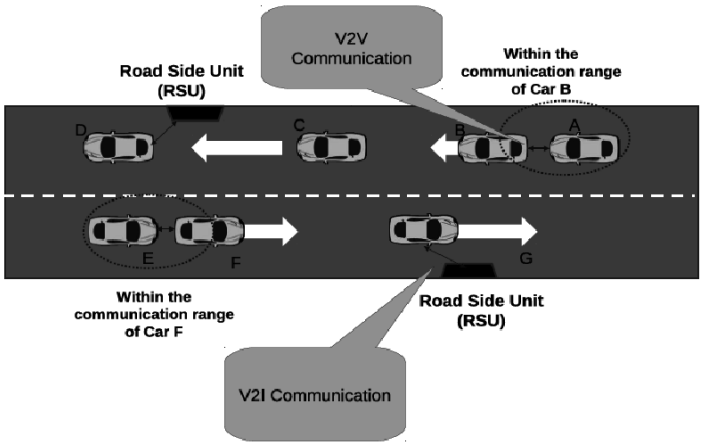
Tabel 2.1 Kajian Pustaka

No	Nama Penulis, Tahun dan Judul	Persamaan	Perbedaan	
			Penelitian Terdahulu	Rencana Penelitian
1	Ahmad Yasser.; M. Zarkany.; Neamat Abdel Kader.;, [2017] *VANET Routing Protocol For V2V Implementation: A Suitable Solution For Developing Countries*	Melakukan analisis kinerja protokol *routing* AODV pada jaringan VANET	Menggunakan aplikasi OPNET dan menggunakan *random waypoint model* dengan jenis topologi jalan terstruktur (penulis merancang sendiri jalannya dan jalan tersebut tidak secara nyata ada pada peta)	Menggunakan aplikasi SUMO dan NS v2.35 dan menggunakan *random waypoint model* dengan jenis topologi jalan berdasarkan peta nyata (penulis mengambil sampel jalan yang secara nyata ada pada peta)
2	Johan Ericka W.P, [2016] Optimasi Kinerja Protokol AODV Pada Skenario *Vehicle to Vehicle Communication* dengan *Static Intersection Node*	Penggunaan SUMO dan Network Simulator pada penerapan analisis protokol *routing* pada VANET dengan jenis topologi jalan yang berdasarkan peta nyata	Transimisi *hybrid* menggunakan media perantara bantuan V2I berupa *Static Intersection Node*	Transmisi *pure ad hoc* secara langsung atau disebut V2V tanpa menggunakan media perantara bantuan

repository.ub.ac.id
UNIVERSITAS BRAWIJAYA

2.1 VANET (*Vehicular Ad Hoc Network*)

Vehicular Ad Hoc Network (VANET) adalah teknologi hasil pengembangan dari *Mobile Ad Hoc Network* (MANET) yang mana difokuskan pada node kendaraan bergerak. Pada MANET, perangkat jaringan adalah sebuah entitas yang independen dan bisa bebas bergerak tanpa adanya batasan. Sedangkan pada VANET, yang bertugas menjadi node adalah kendaraan dengan mobilitasnya yang terbatas dengan jalan dan peta. VANET menggunakan Wi-Fi 802.11b, WiFi 802.11p, atau WiMax 802.16 untuk menghasilkan komunikasi yang efisien antar kendaraan ketika bergerak (Ayyappan dan Kumar, 2016). Komunikasi pada VANET dibagi menjadi dua kategori yaitu *Vehicle to Vehicle Communication* (V2V) dan *Vehicle to Infrastructure Communication* (V2I) seperti yang ditunjukkan pada Gambar 2.1.



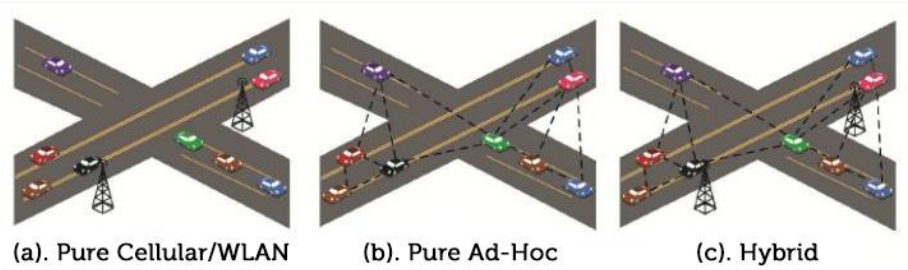
Gambar 2.1 Perbedaan mode komunikasi V2V dan V2I

Sumber: Rehman et al. (2013)

Pada VANET, beberapa kendaraan telah dibekali dengan seperangkat sensor wireless dan OBU (*On Board Unit*) untuk melakukan komunikasi *wireless* antara kendaraan dan lingkungan sekitarnya. Perangkat tersebut mampu berfungsi sebagai *sender*, *receiver*, dan *router* untuk transmisi data menuju kendaraan lain atau menuju RSU (*Road Side Unit*) terdekat yang dijangkau di sekitarnya. VANET mengizinkan kendaraan untuk mengakses data lokasi seperti GPS (*Global Positioning System*) atau GDPS (*Differential Global Positioning System*) (Jakubiak dan Koucheryavy, 2008).

Arsitektur jaringan VANET pada umumnya dibagi menjadi 3 kategori seperti ditunjukkan pada Gambar 2.2, yaitu: *Pure Cellular*, *Pure Ad Hoc*, dan *Hybrid*. *Pure Cellular* adalah jaringan seperti WLAN dan 3G yang terbentuk murni karena adanya pola jangkauan jaringan pemancar seluler. *Pure Ad Hoc* adalah jaringan yang terbentuk karena adanya komunikasi antar kendaraan atau *Vehicle to Vehicle Communication* (V2V). Dan *Hybrid* adalah hasil dari kombinasi infrastruktur jaringan seluler dan infrastuktur jaringan *ad hoc*.

repository.ub.ac.id
UNIVERSITAS BRAWIJAYA



Gambar 2.2 Kategori Arsitektur Pada VANET

Sumber: Rehman et al. (2013)

VANET merupakan jaringan *wireless* berbasis *ad hoc* yang bertanggung jawab menjaga komunikasi antar kendaraan bergerak dalam satu jaringan. VANET disebut jaringan *ad hoc* karena jaringan yang ada bisa terbentuk dan terhapuskan pada waktu acak tertentu karena mobilitas kendaraan yang terus-menerus bergerak dan berpindah lokasi. Oleh karena itu, dibutuhkan mekanisme untuk melakukan transmisi data dengan optimal. Hal ini bisa diatasi dengan protokol *routing* yang merupakan sebuah protokol yang bertugas untuk menentukan jalur transmisi data.

2.2 Mobilitas pada VANET

Pada VANET yang menggunakan komunikasi *multi-hop*, kendaraan yang bertugas sebagai node juga mampu menjadi relay yang tugasnya menyerupai *router*. Dikarenakan kendaraan terus menerus bergerak dan berpindah lokasi sesuai kondisi jalan raya dalam waktu acak. Hal ini menyebabkan terjadinya mobilitas yang mengakibatkan sulitnya menentukan jalur dari pengirim ke penerima dalam transmisi data.

Mobilitas kendaraan merupakan sebuah tantangan besar dalam VANET karena hal ini sangat sulit dan mahal jika diimplementasikan secara langsung mengingat objek yang berada di dalamnya adalah mobil dan jalan raya. Dalam menyikapi hal itu, dilakukan simulasi dengan pemodelan mobilitas kendaraan dan lalu lintas yang realistis dan akurat untuk dapat diimplementasikan di dunia nyata. Pemodelan mobilitas kendaraan adalah pola yang mendefinisikan pergerakan node pada area simulasi dalam waktu simulasi tertentu (Djaenouri et al., 2008).

Pemodelan mobilitas kendaraan juga harus diklasifikasi baik secara *macroscopic* dan *microscopic* (Härri et al., 2016). *Macroscopic* adalah deskripsi terkait kepadatan kendaraan di jalan raya, kecepatan rata-rata kendaraan dan aliran lalu lintas. Sedangkan *microscopic* adalah seperti mempertimbangkan bahwa setiap kendaraan adalah sebuah entitas yang berbeda atau memodelkan perilaku kendaraan dengan lebih presisi seperti jarak antar kendaraan, akselerasi, pengereman atau *overtaking*.

Pada penelitian yang ditulis oleh Härri et al., (2009) menyatakan bahwa simulasi pemodelan mobilitas yang dimaksudkan untuk menghasilkan pergerakan kendaraan yang realistis sesuai kondisi dunia nyata, harus mempertimbangkan beberapa parameter antara lain keakuratan topologi peta, rintangan, titik lokasi

repository.ub.ac.id
UNIVERSITAS BRAWIJAYA

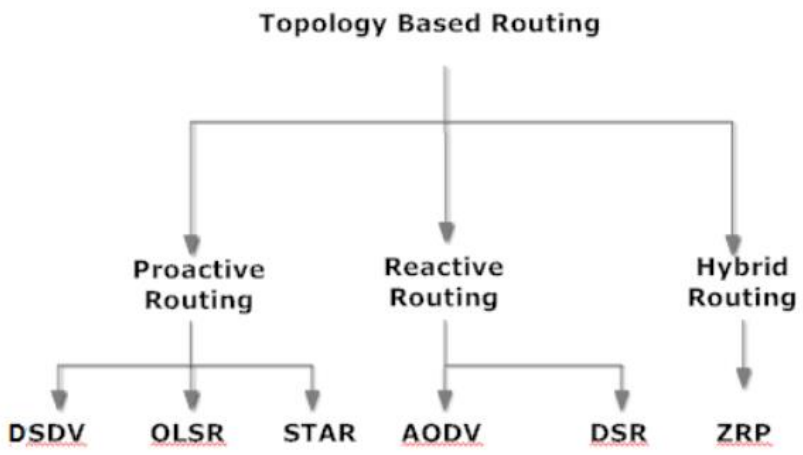
attraction/repulsion, karakteristik kendaraan, pergerakan tujuan, pergerakan jalur, akselerasi kendaraan, pola berkendara manusia, manajemen persimpangan, pola waktu, dan faktor eksternal lain.

Adapun mobilitas kendaraan yang digunakan pada penelitian ini adalah *random way point*. Model mobilitas ini memungkinkan seluruh node memilih titik tujuannya secara acak, berjalan ke titik tujuan tersebut melalui jalan yang acak, berhenti sejenak, dan berjalan lagi menuju titik tujuan selanjutnya (Rupinder dan Gurpeet, 2014). Intinya adalah model mobilitas *random way point* mengasumsikan seluruh node berjalan di area terbuka tanpa adanya halangan.

Namun pada penelitian ini model *random way point* yang digunakan akan terlebih dahulu dikonfigurasikan dengan menggunakan aplikasi SUMO sehingga node atau kendaraan yang berjalan memiliki aturan batasan tertentu. Meskipun algoritme mobilitas yang digunakan adalah *random way point* namun node akan berjalan sesuai dengan lajur jalan yang ada, tidak akan melawan arus, mengikuti aturan lampu lalu lintas yang dilewati dan berjalan sesuai dengan kecepatan yang diinginkan sehingga mobilitas yang dihasilkan pada simulasi akan lebih realistis.

2.3 Protokol *Routing* Pada VANET

VANET memungkinkan kendaraan bergerak dengan kecepatan tinggi dan berpindah lokasi dalam waktu yang acak, artinya VANET memiliki topologi yang dinamik. Dalam topologi dinamik, data ditransmisikan secara *multi-hop* oleh node dari node asal ke node tujuan. Dalam meningkatkan *Quality of Service* pada VANET, dibutuhkan protokol *routing* yang sesuai pada *physical layer* dan *data layer*. Menurut penelitian yang dilakukan oleh Mustafa dan Raja (2010) menyatakan bahwa terdapat tiga kategori protokol berdasarkan topologinya yaitu *proactive routing, reactive routing*, dan *hybrid routing* seperti ditunjukkan pada Gambar 2.3.



Gambar 2.3 Kategori routing berdasarkan topologi

Sumber: Mustafa dan Raja (2010)

Protokol *routing proactive* adalah protokol yang berbasis *table-driven*, artinya protokol ini selalu menjaga rute topologi jaringan dan memperbaruinya secara

repository.ub.ac.id
UNIVERSITAS BRAWIJAYA

berkala serta menyimpannya dalam sebuah *routing table* yang kemudian seluruh informasi tersebut didistribusikan kepada node-node lain yang terpilih sebagai *relay*. Dan protokol *routing reactive* adalah protokol yang berbasis *on-demand*, artinya protokol ini hanya akan menyimpan informasi rute pada saat dibutuhkan saja yaitu pada saat ada permintaan akses dari kendaraan yang melintas di sekitarnya saja, hal ini akan mengurangi *control message overhead* pada saat menemukan rute baru. Sedangkan protokol *routing hybrid* adalah hasil dari kombinasi keduanya dengan mengadopsi kelebihannya dan menghilangkan kekurangannya.

2.3.1 AODV (*Ad Hoc on Demand Distance Vector*)

Ad Hoc on Demand Distance Vector (AODV) adalah salah satu jenis protokol *routing reactive* pada VANET dimana AODV menggunakan algoritme *distance vector* yang memungkinkan suatu node mengetahui node di sekitarnya beserta jarak yang dibutuhkan (Perkins dan Royer, 2003). AODV membuat rute jaringan hanya ketika dibutuhkan saja sehingga memiliki nilai *routing overhead* yang lebih rendah dibandingkan protokol *routing proactive*. Pada AODV yang menggunakan mode komunikasi *single-path* terjadi dua fase utama yaitu fase *discovery* dan fase *maintaining*.

Sebelum memahami mekanisme kerja dari AODV berikut adalah beberapa istilah proses tahapan yang berjalan beserta fungsinya:

1. *Route request (*RREQ), proses ini digunakan ketika node asal akan mengirimkan paket data ke node tujuan dimana paket ini berisikan informasi node asal, node tujuan, *lifespan* dan ID.
2. *Route reply* (RREP), terjadi ketika node tujuan merespon balik permintaan dari node asal, paket ini berisi informasi node asal, node tujuan, *hop count* dan ID.
3. *Route error* (RRER), digunakan untuk merespon ketika sebuah node gagal meneruskan paket data.

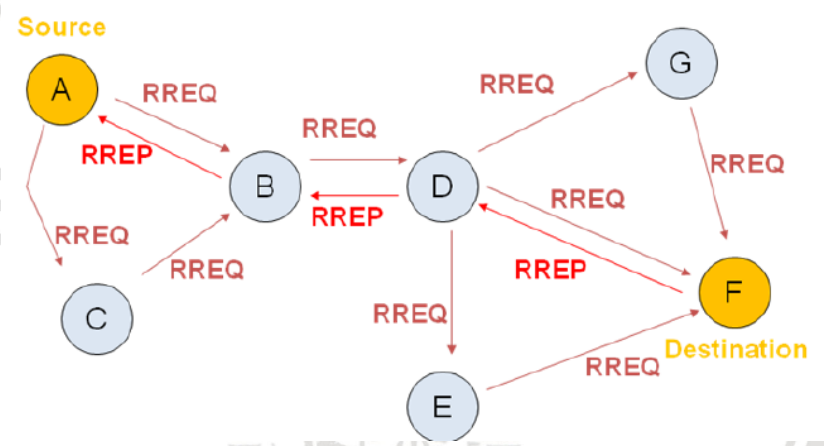
Setiap node pada AODV hanya mengetahui node tetangganya melalui mekanisme *hello message* dengan variabel *time to live* (TTL) bernilai 1 yang artinya hanya akan mampu diterima oleh tetangga 1 *hop* saja. Selain itu, mekanisme *hello message* dapat digunakan untuk mengatasi *error* jika ditransmisikan secara terus-menerus sehingga kerusakan *link* dapat terdeteksi oleh *routing*.

Mekanisme kerja dari AODV adalah ketika sebuah paket akan dikirimkan dari node asal ke node tujuan maka pesan *route request* (RREQ) akan dikirimkan secara *broadcast* ke node tetangga 1-*hop* dengan jarak yang paling dekat. Duplikat pesan RREQ akan ditandai menggunakan *sequence number* yang berbeda dimana node terdekat akan menerima pesan RREQ non-duplikat. Setiap node yang menerima RREQ akan melakukan pengecekan apakah node tujuan berada dalam daftar tetangganya, apabila ternyata node tujuan ditemukan dalam daftar tetangga 1-*hop* maka node tersebut mengirimkan RREP kepada node asal dan node tujuan sebagai pemberitahuan bahwa node tujuan telah ditemukan, namun apabila

repository.ub.ac.id
UNIVERSITAS BRAWIJAYA

ternyata node tujuan tidak ditemukan dalam daftar tetangga 1-*hop* maka node tersebut akan meneruskan RREQ ke node tetangganya terdekat. Begitu seterusnya hingga ada ditemukan sebuah node yang tetangga 1-*hop* adalah node tujuan. Selanjutnya ketika node diantara node asal dan node tujuan mengetahui letak node tujuan atau node itu sendiri adalah node tujuan, maka node tersebut akan mengirimkan pesan *route reply* (RREP) menuju node asal kembali sebagai balasan dengan menggunakan jalur baliknya atau *reverse path*.

Saat *routing* mengalami kegagalan dalam mengirimkan paket data akibat *link* yang rusak, node pada AODV akan mencari jalur alternatif lain dengan mengirimkan kembali RREQ hingga ditemukan *link* baru yang dapat digunakan untuk meneruskan paket data ke node tujuan. Namun jika pencarian jalur alternatif tersebut gagal, maka node akan mengirimkan pesan *broadcast* RRER yang mengandung daftar node yang *unreachable* beserta informasinya ke seluruh node lainnya untuk memberikan informasi bahwa terdapat node yang tidak dapat digunakan. Pada Gambar 2.4 digambarkan ilustrasi mekanisme protokol *routing* AODV secara singkat.



Gambar 2.4 Ilustrasi mekanisme kerja protokol *routing* AODV

Sumber: Iqbal et al. (2001)

Pada jaringan VANET probabilitas terjadinya kegagalan *link* cukup besar dikarenakan mobilitas node cukup tinggi yang mengakibatkan rute yang telah terbentuk sebelumnya akan cepat terputus sehingga *routing* akan terlalu banyak membentuk rute baru lagi. Namun sejauh mana faktor tersebut mempengaruhi kinerja protokol *routing* AODV akan dapat diketahui pada penelitian ini, apakah masih dalam batas toleran atau tidak.

2.4 Model Jalan di Indonesia

Menurut Peraturan Menteri Perhubungan Republik Indonesia Nomor PM 111 Tahun 2015 tentang Tata Cara Penetapan Batas Kecepatan Pasal 3 Ayat 2 dan Pasal 3 Ayat 4 disebutkan bahwa ada empat model jalan berdasarkan aturan kecepatan yang berlaku (Kemenhub, 2015). Empat model jalan tersebut beserta aturan kecepatannya antara lain:

repository.ub.ac.id
UNIVERSITAS BRAWIJAYA

1. Jalan bebas hambatan (min. 60 km/jam dan maks. 100 km/jam).

   Menurut Glosarium Departemen Perhubungan, jalan bebas hambatan adalah jalan dengan jalur ganda untuk lalu lintas dengan kontrol akses penuh untuk keamanan dan efesiensi gerakan lalu lintas dengan volume yang tinggi, pada kecepatan yang cukup tinggi. Umumnya di Indonesia karakteristik jenis jalan ini memiliki 3-4 ruas lajur di tiap jalurnya, minim persimpangan, dan hampir tidak ada lampu lalu lintas.

2. Jalan antar kota (maks. 80 km/jam).

   Jalan antarkota adalah jalan dengan jalur ganda kolektor yang menghubungkan antar ibukota kabupaten atau kota. Umumnya di Indonesia karakteristik jenis jalan ini memiliki 1-3 ruas lajur di tiap jalurnya, minim persimpangan, dan minim lampu lalu lintas.

3. Jalan perkotaan (maks. 50 km/jam).

   Jalan perkotaan adalah jalan di wilayah perkotaan yang menghubungkan antar pusat pelayanan dalam kota. Umumnya di Indonesia karakteristik jenis jalan ini memiliki 1-3 ruas lajur di tiap jalurnya, banyak persimpangan, dan banyak lampu lalu lintas.

4. Jalan permukiman (maks. 30 km/jam).

   Jalan permukiman adalah jalan di wilayah permukinan yang menghubungkan antar tempat tinggal masyarakat sekitar. Umumnya di Indonesia karakteristik jenis jalan ini memiliki 1-2 ruas lajur di tiap jalurnya, banyak persimpangan, dan hampir tidak ada lampu lalu lintas.

2.5 Network Simulator v2.35 (NS-2.35)

Karena komunikasi jaringan internet adalah suatu topik yang sangat kompleks dan sulit untuk dianalisis dengan menggunakan metode tradisional apalagi jika dituntut untuk menghasilkan analisis yang akurat tentang sistem internet tersebut, maka dibutuhkan simulator jaringan. Dalam simulator, komponen jaringan dimodelkan dalam bentuk yang sedemikian rupa sehingga mendekati realita dunia nyata. Kemudian komponen tersebut bisa diujikan dan dianalisi performanya. Salah satu simulator jaringan yang cukup popular adalah Network Simulator v2.35.

Network Simulator v2.35 adalah sebuah simulator yang cukup popular pada sistem jaringan internet yang digunakan sebagai fasilitas implementasi, pengujian dan analisis jaringan internet untuk keperluan pendidikan dan riset (Fall dan Varadhan, 2011). Network Simulator v2.35 mendukung teknologi jaringan yang digunakan saat ini seperti WLAN, MANET, Wireless Sensor Networks (WSN), *Wireless Sensor Networks* (CRN), *Internet of Things* (IoT), VANET dan lainnya. Network Simulator v2.35 merupakan sebuah project yang diinisiasi pada pertengahan tahun 2006 dan masih dikembangkan sampai saat ini dan bersfifat *open-source* sehingga bisa didapatkan secara gratis.

repository.ub.ac.id
UNIVERSITAS BRAWIJAYA

2.6 SUMO (*Simulation of Urban Mobility*)

Simulation of Urban Mobility (SUMO) adalah sebuah simulasi mobilitas kendaraan secara *microscopic*, *multi-modal*, *space-continous* dan *time-discrete* pada aliran lalu lintas (Behrisch et al., 2011). Project SUMO dimulai pada tahun 2001 dan kemudian merilis versi *open-source* di tahun 2002. SUMO diciptakan untuk membantu simulasi mobilitas lalu lintas dengan mengimplementasikan berbagai macam algoritme. disamping itu, alasan lain SUMO diciptakan adalah untuk menggapai *support* dari institusi lain.

Jaringan internet jalan raya pada simulator SUMO merepresentasikan kondisi jaringan di dunia nyata dimana node adalah persimpangan dan *edge* adalah ruas jalan (Krajzewicz et al., 2012). Persimpangan terdiri dari sebuah posisi, bentuk atau bisa dianggap sebagai lampu merah jalan. Sedangkan *edge* adalah ruas jalan yang unidirectional yang terhubung diantara dua node serta memiliki beberpa jalur di dalamnya.

SUMO *road network* bisa digeneralisasi menggunakan "*netgenerate*" atau dengan melakukan *import* peta jalan digital menggunakan "*netconvert*". Fitur "*netgenerate*" mampu membangun tipe abstrak seperti *manhattan*, *spider*, dan *random*. Sedangkan pada fitur "*netconvert*" mampu membangun peta mobilitas dari simulator lain atau dari peta digital seperti OSM (*OpenStreetMaps*).

Ada 2 versi simulasi yang berbeda pada SUMO yaitu aplikasi yang murni dengan *command line* yang disebut *"sumo"* dan aplikasi yang menawarkan *Graphical User Interface* (GUI) yang mampu melakukan *render* menggunakan openGL. Visualisasi SUMO dapat dikostumisasi untuk visualisasi kecepatan, waktu tunggu, dan untuk menelusuri kendaraan tertentu. GUI pada SUMO juga memungkinkan pengguna untuk berinteraksi dengan skenario yang ada.

2.7 OSM (*OpenStreetMap*)

OpenStreetMaps (OSM) adalah sebuah proyek berbasis *website* untuk mengakses peta digital secara gratis. OSM dibangun menggunakan *Global Positioning System* (GPS), digitalisasi citra satelit serta pengumpulan dan pembebasan data geografis. Kontributor OSM dapat memiliki, memodifikasi dan membagikan data peta secara luas dengan tujuan pendidikan dan riset. OSM bisa dikatakan sebagai salah satu proyek peta digital paling luas dan efektif yang dikembangkan saat ini (Haklay dan Weber, 2008).

Bagian utama dalam OSM adalah pengguna bisa berkontribusi dalam pembentukan informasi peta geografis. OSM *developer* telah berusaha untuk mengimplementasikan *tools* untuk memfasilitasi pengguna yang berkontribusi ke database. OSM *website* menawarkan *editor* berbasis *flash* dengan *user interface* yang mudah yang bisa digunakan oleh kontributor untuk menambah, memperbarui atau menghapus peta geografis yang ada.

Proyek OSM memiliki *database* dari berbagai elemen geografis (node, metode, dan relasi) dan berbagai fitur (jalan, bangunan, dan gedung pencakar langit)

repository.ub.ac.id
UNIVERSITAS BRAWIJAYA

(Eugster dan Schlesinger, 2013). Data-data tersebut didapatkan dari kontributor yang secara sukarela berkontribusi menambah data peta digital. Selain itu, OSM menyediakan data geografis dalam format OSM XML.

2.8 Parameter Pengujian

Pada penelititan ini dilakukan pengujian dengan menggunakan tool *GNU AWK (GAWK)* yang merupakan sebuah bahasa pemrograman yang digunakan untuk pemrosesan berbasis teks yang tersedia untuk semua sistem UNIX (Stutz, 2006). *GAWK* dapat digunakan sebagai *tool* pengujian kinerja jaringan VANET pada network simulator v2.35 dengan beberapa parameter tertentu. Pengujian tersebut berfungsi untuk mengetahui seberapa baik performa protokol *routing* AODV pada jaringan VANET. Beberapa parameter pengujian yang digunakan pada penelitian ini di antaranya adalah:

1. *Average throughput*, yaitu seberapa besar kecepatan data yang dikirimkan pada jaringan antara node awal menuju node tujuan yang diinginkan (Jyothi et al., 2016). Kecepatan tersebut dapat dihitung dengan membandingkan jumlah paket yang diterima oleh suatu node terhadap total waktu pengujiannya. Semakin besar nilai *average throughput* yang dihasilkan maka kinerja sistem jaringan dinilai semakin baik. Sebaliknya semakin rendah nilai *average throughput* yang didapatkan maka semakin buruk kinerja sistem jaringannya.

$$Average\ throughput = \frac{paket\ yang\ diterima}{waktu\ simulasi}$$

2. *Packet delivery ratio*, rasio perbandingan antara banyaknya paket yang diterima oleh node tujuan dengan banyaknya paket yang dikirim oleh node asal (Rohal et al., 2013). Parameter *packet delivery ratio* berfungsi untuk mengetahui presentase keberhasilan paket yang dikirim dalam transimisi sistem jaringan. Semakin besar presentase *packet delivery ratio* maka semakin baik kinerja sistem jaringannya. Sedangkan jika semakin kecil keluaran *packet delivery ratio* yang dihasilkan maka kinerja sistem jaringan semakin buruk.

$$Packet\ delivery\ ratio = \frac{paket\ yang\ diterima}{paket\ yang\ dikirim} \times 100\%$$

3. *End-to-end delay*, jumlah waktu tunggu yang dibutuhkan suatu paket data untuk diterima oleh node tujuan setelah dikirimkan oleh node asal (Shofruzzaman et al., 2016). Dalam suatu transmisi data sebuah paket akan dikirimkan dari node asal ke node tujuan baik secara langsung atau melalui node *hop*. Apabila situasi jaringan sedang sibuk maka selisih waktu tunggu ketika paket dikirimkan oleh node asal dan paket diterima oleh node tujuan akan semakin besar yang akan mengakibatkan nilai *end-to-end delay.*

repository.ub.ac.id
UNIVERSITAS BRAWIJAYA

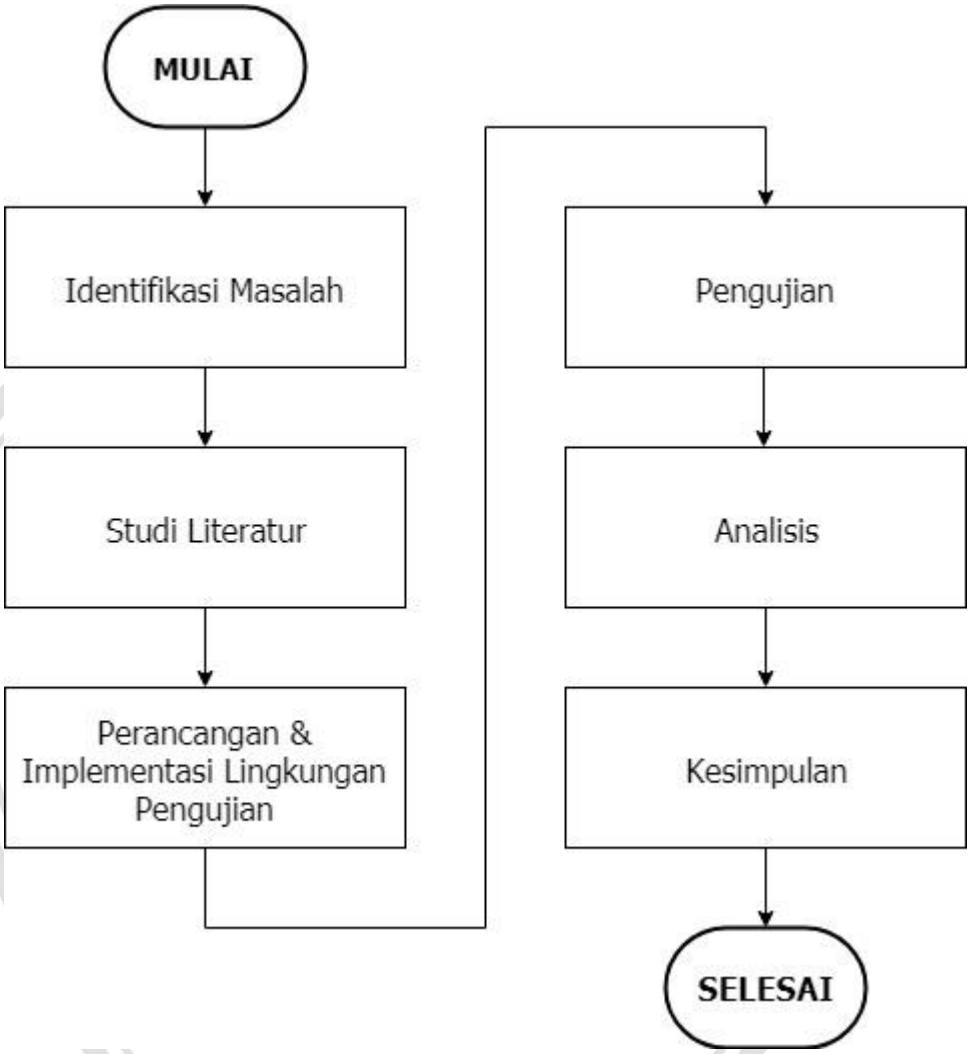
Secara umum, semakin besar keluaran *end-to-end delay* maka kinerja jaringan semakin buruk sedangkan semakin kecil nilai *end-to-end delay* maka kinerja jaringan semakin baik.

$$End\ to\ end\ delay = \frac{total\ delay}{total\ paket\ yang\ diterima}$$

repository.ub.ac.id
UNIVERSITAS BRAWIJAYA

BAB 3 METODOLOGI

Pada bagian ini akan dijelaskan alur pengerjaan penelitian. Berikut adalah tahapan-tahapan metodologi penelitian yang digambarkan dalam diagram alir seperti ditunjukkan pada Gambar 3.1.



Gambar 3.1 Diagram Alir Metodologi Skripsi

Berdasarkan Gambar 3.1 di atas, maka dapat dijelaskan langkah-langkah metodologi yang digunakan dalam penelitian ini sebagai berikut:

1. Identifikasi masalah untuk menentukan fokus penelitian yang akan dilakukan.
2. Studi literatur penelitian meliputi VANET (*Vehicular Ad Hoc Network*), protokol *routing* AODV, model jalan di Indonesia, Network Simulator v2.35

repository.ub.ac.id
UNIVERSITAS BRAWIJAYA

(NS-2.35), SUMO (*Simulation of Urban Mobility*), dan OSM (*OpenStreetMap*).

3. Perancangan lingkungan pengujian untuk menentukan lingkungan uji coba, skenario uji coba dan parameter uji coba.
4. Pengujian sistem dengan menjalankan beberapa skenario uji coba program menggunakan protokol *routing* AODV pada jaringan VANET.
5. Analisis dan hasil pengujian dengan parameter uji yang telah ditentukan antara lain yaitu *average throughput*, *packet delivery ratio*, dan *end-to-end delay*.
6. Penarikan kesimpulan berdasarkan hasil analisis pengujian yang dilakukan terhadap sistem untuk menjawab rumusan masalah.

3.1 Studi Literatur

Pada bagian studi literatur ini, dibahas tentang penjelasan dasar teori dari berbagai referensi yang berkaitan dengan penelitian yang dilakukan.

1. VANET (*Vehicular Ad Hoc Network*) merupakan jaringan *ad hoc* yang digunakan kendaraan untuk berkomunikasi, mode komunikasi VANET terbagi menjadi *Vehicle to Vehicle* (V2V) *Communication* atau *Vehicle to Infrastructure* (V2I) *Communication*.
2. Mobilitas pada VANET adalah pola pergerakan yang berhubungan dengan kecepatan dan arah pergerakan dari kendaraan atau node.
3. Protokol *routing* AODV (*Ad Hoc on Demand Distance Vector*) yang bersifat *reactive.*
4. Network Simulator v2.35 adalah simulator *open-source* yang digunakan untuk kebutuhan edukasi dalam menganalisis kinerja dan performa jaringan internet.
5. SUMO (*Simulation of Urban Mobility*) adalah simulator *open-source* yang digunakan untuk merancang mobilitas objek bergerak berdasarkan peta abstrak maupun peta sesuai dunia nyata.
6. OSM (*OpenStreetMap*) merupakan sebuah layanan berbasis *website* untuk mengakses peta digital dunia nyata secara gratis.

3.2 Perancangan Lingkungan Pengujian

Pada bagian perancangan lingkungan pengujian akan dijelaskan beberapa rancangan lingkungan pengujian yang akan dilakukan pada penelitian ini antara lain perancangan skenario lokasi, perancangan skenario pengujian, dan perancangan parameter pengujian.

repository.ub.ac.id
UNIVERSITAS BRAWIJAYA

3.2.1 Perancangan Skenario Lokasi

Perancangan lokasi dilakukan untuk menentukan skenario lokasi/tempat pengujian yang akan dilakukan pada penelitian ini. Adapun perancangan lokasi yang ditentukan pada penelitian ini berjumlah 4 lokasi antara lain:

1. Jalan bebas hambatan beserta kondisi dan peraturan yang berlaku di Indonesia.
2. Jalan antar kota beserta kondisi dan peraturan yang berlaku di Indonesia.
3. Jalan perkotaan beserta kondisi dan peraturan yang berlaku di Indonesia.
4. Jalan permukiman beserta kondisi dan peraturan yang berlaku di Indonesia.

3.2.2 Perancangan Skenario Pengujian

Perancangan skenario dilakukan untuk menentukan skenario pengujian yang akan diterapkan pada penelitian ini. Perancangan skenario pada penelitian ini didasarkan pada perbedaan jumlah node kendaraan bergerak, total waktu pengujian dengan interval waktu *capture* simulasi. Jumlah node kendaraan yang bergerak ditentukan berdasarkan hasil kalkulasi yang dibahas pada bab selanjutnya.

3.2.3 Perancangan Parameter Pengujian

Perancangan parameter pengujian dilakukan untuk membantu melakukan analisis penilaian dan pengukuran terhadap hasil pengujian yang telah dilakukan pada bagian selanjutnya. Berikut 3 parameter pengujian yang ditentukan pada penelitian ini yaitu:

1. *Average throughput.* Kecepatan rata-rata data yang dikirimkan pada jaringan antara node awal menuju node tujuan yang diinginkan waktu.
2. *Packet delivery ratio.* Rasio perbandingan antara banyaknya paket yang diterima oleh node tujuan dengan banyaknya paket yang dikirim oleh node asal.
3. *End-to-end delay.* Waktu tunggu atau tunda saat paket ditransmisikan dari node asal ke node tujuan.

3.3 Pengujian

Pada bagian ini akan dilakukan pengujian sistem berdasarkan lingkungan pengujian yang telah ditentukan dan berdasarkan beberapa ketentuan parameter pengujian yaitu *average throughput, packet delivery ratio,* dan *end-to-end delay*. Pengujian ini masing-masing dilakukan sebanyak tiga kali percobaan, kemudian diambil nilai rata-rata dari ketiga percobaan tersebut agar *output* yang dihasilkan lebih andal.

repository.ub.ac.id
UNIVERSITAS BRAWIJAYA

3.4 Analisis

Pada bagian ini akan dilakukan analisis dan pembahasan dari output yang dihasilkan saat tahap pengujian. Dalam analisis ini, akan dibandingkan hasil *packet average throughput, delivery ratio,* dan *end-to-end delay* pada masing-masing skenario dalam bentuk grafik. Pada bagian ini juga akan dianalisis cara kerja protokol *routing* AODV pada jaringan VANET berdasarkan variasi model jalan di Indonesia.

3.5 Kesimpulan

Pada bagian kesimpulan ini merupakan tahap yang dilakukan paling akhir setelah bagian identifikasi masalah, studi literatur, perancangan dan simulasi, dan analisis. Kesimpulan diambil berdasarkan hasil pengujian dan analisis sistem, selain itu pada bagian ini juga ditambahkan saran untuk digunakan pada penelitian selanjutnya.

repository.ub.ac.id
UNIVERSITAS BRAWIJAYA

BAB 4 PERANCANGAN DAN IMPLEMENTASI

Pada bagian ini akan dijelaskan tentang perancangan dan implementasi yang akan dilakukan pada penelitian ini. Bagian perancangan menjelaskan lebih detail terkait perancangan skenario lokasi, perancangan skenario pengujian, perancangan pengiriman data, dan perancangan parameter pengujian. Sedangkan bagian implementasi akan dijelaskan lebih detail tentang instalasi aplikasi, membangun lingkungan pengujian, membentuk mobilitas kendaraan, dan membangun simulasi beserta konfigurasinya. Selain itu, dijelaskan mekanisme penarikan data yang digunakan.

4.1 Perancangan Lingkungan Pengujian

Pada bagian perancangan lingkungan pengujian akan dijelaskan beberapa rancangan lingkungan pengujian yang akan dilakukan pada penelitian ini antara lain perancangan skenario lokasi, perancangan skenario pengujian, perancangan pengiriman data, dan perancangan parameter pengujian.

4.1.1 Perancangan Skenario Lokasi

Perancangan lokasi dilakukan untuk menentukan skenario lokasi/tempat pengujian yang akan dilakukan pada penilitian ini sehingga penelitian yang dilakukan terfokus pada batasan lokasi yang telah ditentukan. Berikut 4 perancangan lokasi yang ditentukan yaitu:

1. Jalan bebas hambatan.

   Peta yang diambil dari *openstreetmap.org* dengan karakteristik jenis jalan ini memiliki batas kecepatan minimal 60 km/jam dan maksimal 100 km/jam, minim persimpangan, dan hampir tidak ada lampu lalu lintas.

   - Area Kota Cikarang (Jalan Tol Cikampek), area tersebut memiliki jalan yang lebih panjang dan luas dibanding model bebas hambatan lainnya karena memiliki 3 ruas jalan dengan jalur yang memutar pada 4 titik sehingga mendukung kemudahan penyuntingan peta dan simulasi.
   - Luas area simulasi sekitar 1000x1000 meter
   - Memiliki 4 ruas lajur di tiap jalurnya
   - Panjang jalan adalah 3.992 mi atau 6.424 km
   - Peta jalan dimodifikasi sedemikian rupa sehingga tidak ada jalan yang terputus dengan tetap memperhatikan model aslinya.
   - Mempertahankan rambu lalu lintas seperti lampu lalu lintas.
   - Mengabaikan bangunan lain seperti gedung, rumah, taman dan lain sebagainya.

repository.ub.ac.id
UNIVERSITAS BRAWIJAYA

2. Jalan antar kota.

   Peta yang diambil dari *openstreetmap.org* dengan karakteristik jenis jalan ini memiliki batas kecepatan maksimal 80 km/jam, minim persimpangan, dan minim lampu lalu lintas.

   - Area Kota Semarang (Jalan Kalibanteng), area tersebut memiliki jalan yang lebih panjang dan luas dibanding model antar kota lainnya karena memiliki jalur yang memutar yang menghubungkan 6 ruas jalan sehingga mendukung kemudahan penyuntingan peta dan simulasi.
   - Luas area simulasi sekitar 1000x1000 meter
   - Memiliki 3 ruas lajur di tiap jalurnya
   - Panjang jalan adalah 4.268 mi atau 6.868 km
   - Peta jalan dimodifikasi sedemikian rupa sehingga tidak ada jalan yang terputus dengan tetap memperhatikan model aslinya.
   - Mempertahankan rambu lalu lintas seperti lampu lalu lintas.
   - Mengabaikan bangunan lain seperti gedung, rumah, taman dan lain sebagainya.

3. Jalan perkotaan.

   Peta yang diambil dari *openstreetmap.org* dengan karakteristik jenis jalan ini memiliki batas kecepatan maksimal 50 km/jam, banyak persimpangan, dan banyak lampu lalu lintas.

   - Area Kota Malang (sekitar Kelurahan Kauman), area tersebut memiliki jalan yang cukup panjang dan luas karena ruas jalan yang cukup banyak dan area tersebut merupakan kawasan yang cukup banyak dilewati di jantung Kota Malang.
   - Luas area simulasi sekitar 1000x1000 meter
   - Memiliki 2 ruas lajur di tiap jalurnya
   - Panjang jalan adalah 4.842 mi atau 7.213 km
   - Peta jalan dimodifikasi sedemikian rupa sehingga tidak ada jalan yang terputus dengan tetap memperhatikan model aslinya.
   - Mempertahankan rambu lalu lintas seperti lampu lalu lintas.
   - Mengabaikan bangunan lain seperti gedung, rumah, taman dan lain sebagainya.

4. Jalan permukiman.

   Peta yang diambil dari *openstreetmap.org* dengan karakteristik jenis jalan ini memiliki batas kecepatan maksimal 30 km/jam, banyak persimpangan, dan hampir tidak ada lampu lalu lintas.

repository.ub.ac.id
UNIVERSITAS BRAWIJAYA

- Area Kota Malang (sekitar Kelurahan Jatimulyo), area tersebut memiliki jalur jalan sangat banyak, cukup padat, dan tidak ada lampu lalu lintas sehingga sangat mendukung sebagai model jalan permukiman.
- Luas area simulasi sekitar 1000x1000 meter
- Memiliki 1 ruas lajur di tiap jalurnya
- Panjang jalan adalah 10.973 mi atau 17.659 km
- Peta jalan dimodifikasi sedemikian rupa sehingga tidak ada jalan yang terputus dengan tetap memperhatikan model aslinya.
- Mempertahankan rambu lalu lintas seperti lampu lalu lintas.
- Mengabaikan bangunan lain seperti gedung, rumah, taman dan lain sebagainya.

4.1.2 Perancangan Skenario Pengujian

Perancangan skenario dilakukan untuk menentukan beberapa skenario pengujian yang akan diterapkan pada penelitian ini. Perancangan skenario pada penelitian ini didasarkan pada perbedaan jumlah node atau kendaraan bergerak. Namun, dikarenakan tidak ada data statistic yang valid terkait jumlah kendaraan pada 1 km luas wilayah di masing-masing model jalan di Indonesia. Maka perbedaan jumlah node atau kendaraan yang bergerak dalam simulasi yang akan diujikan ditentukan dengan melakukan perkalian jumlah kendaraan mobil pribadi per 1 km dengan rata-rata panjang jalan seluruh peta simulasi sebagaimana kalkulasi berikut.

$$\begin{aligned} &skenario\ jumlah\ kendaraan \\ &\quad = estimasi\ jumlah\ mobil\ pribadi\ tiap\ km \\ &\quad \times rerata\ panjang\ jalan\ seluruh\ peta\ simulasi \end{aligned}$$

Untuk mengetahui estimasi jumlah mobil pribadi tiap km, maka diambil data terbaru dari BPS (Badan Pusat Statistik). Menurut data dari Badan Pusat Statistik pada tahun 2015 jumlah total mobil di Indonesia berjumlah sekitar 13.500.000 unit (Badan Pusat Statistik, 2015). Sedangkan menurut sumber data BPS pada tahun 2015 total panjang jalan di Indonesia adalah 529.073 km (BPS, 2015). Maka dari data tersebut didapatkan estimasi jumlah kendaraan tipe mobil pribadi per km di Indonesia dengan rumus berikut.

$$estimasi\ jumlah\ mobil\ pribadi\ tiap\ km = \frac{total\ mobil\ pribadi}{panjang\ jalan}$$

$$= \frac{13.500.000}{529.073} = 25.516\ atau\ disederhanakan = \ 25\ unit$$

repository.ub.ac.id
UNIVERSITAS BRAWIJAYA

Dari perhitungan tersebut didapatkan bahwa estimasi jumlah kendaraan mobil pribadi per km di Indonesia adalah sekitar 25 unit. Kemudian untuk mengetahui rata-rata panjang jalan yang digunakan pada seluruh peta simulasi, maka terlebih dahulu dihitung panjang jalan pada masing-masing model jalan. Jalan di Indonesia umumnya memiliki 2 lajur pada tiap jalurnya, maka jika ada model jalan yang lajurnya lebih dari 2 atau kurang dari 2 maka jalan tersebut dikonversi dengan perbandingan 2 lajur, lalu semua nilai panjang jalan yang sudah dikonversi akan dijumlahkan, kemudian hasil penjumlahan tersebut dibagi dengan total model jalan yaitu 4. Berikut hasil kalkulasinya.

$$rerata\ panjang\ jalan\ seluruh\ peta\ simulasi$$
$$= \frac{(3/2 \times 6.424) + (2/2 \times 6.868) + (2/2 \times 7.213) + (1/2 \times 10.973)}{4}$$
$$= \frac{9.636 + 6.868 + 7.213 + 8.828}{4} = \frac{32.4}{4} = 8.1\ atau\ disederhanakan$$
$$= 8\ km$$

Setelah didapatkan hasil perhitungan estimasi jumlah mobil pribadi tiap km dan rerata panjang jalan seluruh lokasi simulasi, maka dapat ditentukan skenario jumlah kendaraan sesuai rumus di atas.

$$skenario\ jumlah\ kendaraan = 25 \times 8 = 200\ unit$$

Didapatkan bahwa skenario jumlah kendaraan adalah 200 unit pada masing-masing model jalan, jumlah tersebut dapat digunakan sebagai kondisi ideal jalan di Indonesia sesuai kalkulasi di atas. Kemudian dari hasil tersebut dibentuk variasi skenario jumlah kendaraan dengan dilakukan pengurangan 50% nilai jumlah kendaraan kondisi ideal untuk mewakili kondisi lengang dan dilakukan penambahan 50 % nilai jumlah kendaraan kondisi ideal untuk mewakili kondisi padat. Maka dihasilkan jumlah kendaraan 100 unit yang mewakilkan kondisi lenggang dan jumlah kendaraan 300 unit yang mewakilkan kondisi padat duntuk mengetahui pengaruh jumlah kendaraan terhadap kinerja jaringan.

1. Skenario 100 kendaraan (node).

   Mewakili kondisi jalan yang lengang, disimulasikan 100 kendaraan (node) yang berjalan dengan pola pergerakan *random way point* pada SUMO.

2. Skenario 200 kendaraan (node).

   Mewakili kondisi jalan yang ideal, disimulasikan 200 kendaraan (node) yang berjalan dengan pola pergerakan *random way point* pada SUMO.

3. Skenario 300 kendaraan (node).

   Mewakili kondisi jalan yang padat, disimulasikan 300 kendaraan (node) yang berjalan dengan pola pergerakan *random way point* pada SUMO.

repository.ub.ac.id
UNIVERSITAS BRAWIJAYA

4.1.3 Pengiriman Data

Dalam simulasi jaringan VANET dibutuhkan sekumpulan data yang ditransmisikan antar node. Pada bagian ini akan dijelaskan rancangan pengiriman data yang akan diterapkan pada masing-masing skenario pengujian. Tipe *interface* jaringan yang digunakan adalah WiFi 802.11b, data yang dikirimkan berupa UDP (*User Datagram Protokol*) melalui paket CBR (*Constant Bit Rate*), ukuran paket adalah 1024 Kb, lama waktu simulasi adalah 3 menit atau 180 detik dengan melakukan *capture* hasil di setiap interval waktu 30 detik untuk memudahkan proses analisis dalam menemukan letak penyebab utama fenomena yang terjadi, dan luas area simulasi 1000 m x 1000 m. Berikut pada Tabel 4.1 adalah parameter simulasi yang digunakan.

Tabel 4.1 Parameter Simulasi

Network Simulator	NS-2.35
Protokol *Routing*	AODV
Tipe Antenna	*OmniAntenna*
Network Interface	*Wireless*
Tipe MAC	802.11b
Ukuran paket	1024 Kb
Jenis data yang dikirimkan	UDP (CBR)
Ukuran rate CBR	256 Kb
Mobilitas kendaraan	*Random Way Point* (dengan aplikasi SUMO sehingga masih memiliki batasan sesuai aturan yang berlaku di jalan raya antara lain: kendaraan berjalan sesuai jalan yang ada, tidak akan melawan arus dan mengikuti aturan lampu lalu lintas yang dilewatinya)
Lama waktu pengujian	180 detik, dengan interval *capture* 30 detik
Start Time transmisi CBR	Detik ke-0.1
Luas Area	Sekitar 1000 m x 1000 m

4.1.4 Perancangan Parameter Pengujian

Perancangan parameter pengujian dilakukan untuk membantu menganalisis hasil pengujian pada penelitian ini. Berikut perancangan parameter pengujian yang ditentukan yaitu:

repository.ub.ac.id
UNIVERSITAS BRAWIJAYA

1. *Average throughput* dengan satuan *kilo byte per second* (KB/s atau KBps). Kecepatan rata-rata data yang dikirimkan pada jaringan antara node awal menuju node tujuan yang diinginkan dalam interval waktu tertentu.

$$Average\ throughput = \frac{paket\ yang\ diterima}{waktu\ simulasi}$$

2. *Packet delivery ratio* dengan satuan persen (%). Rasio perbandingan antara banyaknya paket yang diterima oleh node tujuan dengan banyaknya paket yang dikirim oleh node asal.

$$Packet\ delivery\ ratio = \frac{paket\ yang\ diterima}{paket\ yang\ dikirim} \times 100\%$$

3. *Average End-to-End Delay* dengan satuan detik (s). Waktu tunggu atau tunda saat paket ditransmisikan dari node asal ke node tujuan.

$$End\ to\ end\ delay = \frac{total\ delay}{total\ paket\ yang\ diterima}$$

4.2 Implementasi

Pada bagian ini dijelaskan implementasi simulasi sebagai tahap penerapan sistem yang akan dibangun sesuai dengan perancangan pada sub-bab sebelumnya. Bagian ini menjelaskan lebih detail terkait instalasi aplikasi, membangun lingkungan pengujian, membentuk mobilitas kendaraan dan membangun simulasi.

4.2.1 Instalasi

Pada penelitian ini, dibutuhkan dua aplikasi utama untuk membangun sistem yang dirancang yaitu SUMO (*Simulation of Urban Mobility*) dan Network Simulator v2.35 (NS-2.35). Adapun tahap instalasi kedua aplikasi tersebut akan dijelaskan pada bagian ini.

4.2.1.1 Instalasi SUMO (*Simulation of Urban Mobility*)

Berikut adalah urutan langkah instalasi SUMO (*Simulation of Urban Mobility*) pada Ubuntu 16.04 Xenial Xerus.

1. Menginstall beberapa *essential software* melalui terminal yang dibutuhkan untuk menjalankan aplikasi SUMO.

```
$ sudo apt-get install libgdal1h libgdal-dev g++ libxerces-
c3.1 libxerces-c-dev libicu-dev libproj-dev libfox-1.6-dev
libgl1-mesa-dev libglu1-mesa-dev python
```


repository.ub.ac.id
UNIVERSITAS BRAWIJAYA

2. Mendownload sumo versi 0.25 dari laman resmi http://sumo.dlr.de/wiki/Main_Page dengan nama *file* "sumo-src-0.25.0.tar.gz".

3. Unpack *file* sumo yang sudah didownload sesuai dengan lokasi path *file*.

```
$ sudo tar -xzvf sumo-src-0.25.0.tar.gz
```

4. Masuk ke folder lokasi *file* path hasil *unpack*.

5. Menjalankan command instalasi berikut melalui terminal secara urut.

```
$ sudo ./configure --with-fox-includes=/usr/include/fox-1.6 \ --with-gdal-includes=/usr/include/gdal --with-proj-libraries=/usr \ --with-gdal-libraries=/usr --with-proj-gdal
$ sudo make
$ sudo make install
```

6. Jika telah sukses, menjalankan aplikasi sumo dengan *command* berikut.

```
$ sumo-gui
```

4.2.1.2 Instalasi NS-2.35

Berikut adalah urutan langkah instalasi Network Simulator v2.35 pada Ubuntu 16.04 Xenial Xerus.

1. Menginstall beberapa *essential software* melalui terminal yang dibutuhkan untuk menjalankan aplikasi NS-2.35 secara berurutan.

```
$ sudo apt-get install tcl8.5-dev tk8.5-dev
$ sudo apt-get install gcc-4.4 g++-4.4
$ sudo apt-get install build-essential autoconf automake
$ sudo apt-get install perl xgraph libxt-dev libx11-dev libxmu-dev
```

2. Mendownload *file* ns-2.35 melalui https://sourceforge.net/projects/nsnam/*files*/allinone/ns-allinone-2.35/ns-allinone-2.35.tar.gz/download

3. Unpack *file* ns-2.35 yang sudah di*download* sesuai dengan lokasi *path file*, pada tahap ini penulis memilih *path* /opt/ sebagai folder instalasi ns-2.35.

```
$ sudo tar -zxvf ns-allinone-2.35.tar.gz -C /opt/
```

4. Memodifikasi oTcl Make*file*.in dengan menjalankan command berikut dan ubah "CC = @CC@" menjadi "CC = gcc-4.4"

repository.ub.ac.id
UNIVERSITAS BRAWIJAYA

```
$ sudo gedit /opt/ns-allinone-2.35/otcl-1.14/Makefile.in
```

5. Install ns-2.35

```
$ cd /opt/ns-allinone-2.35 && sudo ./install
```

6. Memodifikasi *file* ./bashrc

```
$ sudo gedit ~/.bashrc
```

Kemudian tambahkan code berikut di bagian akhir *file*.

```
#LD_LIBRARY_PATH
OTCL_LIB=/opt/ns-allinone-2.35/otcl-1.14
NS2_LIB=/opt/ns-allinone-2.35/lib
X11_LIB=/usr/X11R6/lib
USR_LOCAL_LIB=/usr/local/lib
export
LD_LIBRARY_PATH=$LD_LIBRARY_PATH:$OTCL_LIB:$NS2_LIB:$X11_L
IB:$USR_LOCAL_LIB
# TCL_LIBRARY
TCL_LIB=/opt/ns-allinone-2.35/tcl8.5.10/library
USR_LIB=/usr/lib
export TCL_LIBRARY=$TCL_LIB:$USR_LIB
# PATH
XGRAPH=/opt/ns-allinone-2.35/bin:/home/mouna/ns-allinone
2.35/tcl8.5.10/unix:/opt/ns-allinone-2.35/tk8.5.10/unix
# Note: the above two lines starting from XGRAPH should come
in the same line
NS=/opt/ns-allinone-2.35/ns-2.35/
NAM=/opt/ns-allinone-2.34/nam-1.15/
PATH=$PATH:$XGRAPH:$NS:$NAM
```

7. Menyimpan hasil modifikasi *file* ./bashrc dan jalankan command berikut.

```
$ source ~/.bashrc
```

8. Melakukan pengecekan apakah ns-2.35 telah sukses terinstall dengan command berikut

```
$ ns
```

Jika output yang dihasilkan adalah % maka instalasi ns-2.35 telah sukses dilakukan.

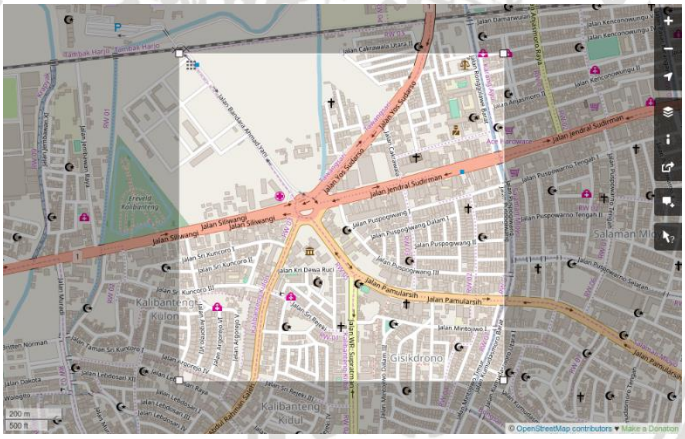
4.2.2 Membangun Lingkungan Pengujian

Lingkungan pengujian pada penelitian ini menggunakan peta nyata yang diambil dari *website* OSM (*OpenStreetMap*) dengan alamat https://www.openstreetmap.org/. Pada *website* tersebut diseleksi beberapa peta

repository.ub.ac.id
UNIVERSITAS BRAWIJAYA

lokasi berbeda yang masing-masing memiliki luas sekitar 1000 m x 1000 m. Beberapa peta tersebut memiliki karakteristik jalan serta peraturan kecepatan yang berbeda, yaitu peta dengan variasi jalan bebas hambatan pada Gambar 4.1, peta dengan variasi jalan antar kota seperti Gambar 4.2, peta dengan variasi jalan perkotaan pada Gambar 4.3, dan peta dengan variasi jalan permukiman seperti Gambar 4.4.

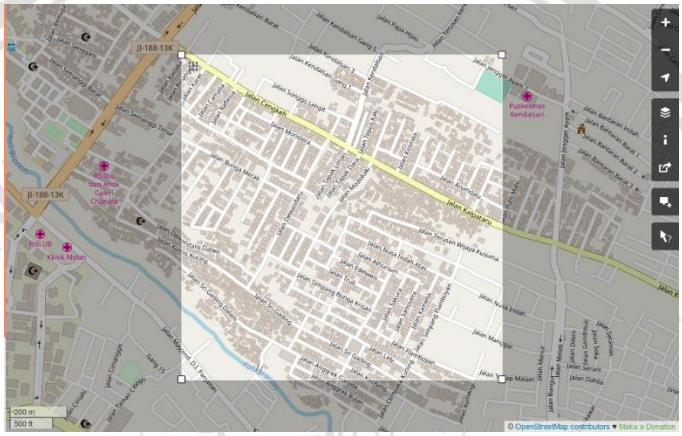
Gambar 4.1 Peta jalan bebas hambatan pada *OpenStreetMap*



Gambar 4.2 Peta jalan antar kota pada *OpenStreetMap*

repository.ub.ac.id
UNIVERSITAS BRAWIJAYA

Gambar 4.3 Peta jalan perkotaan pada *OpenStreetMap*



Gambar 4.4 Peta jalan permukiman pada *OpenStreetMap*

Setelah seleksi peta ditentukan, langkah selanjutnya adalah mengunduh hasil seleksi peta tersebut sehingga didapatkan *file* peta dengan format .osm (*OpenStreetMap*).

4.2.3 Membentuk Mobilitas Kendaraan

Pada simulasi jaringan VANET dibutuhkan mobilitas atau pergerakan node sehingga antar node yang bergerak tersebut membentuk suatu jaringan unik yang disebut VANET. Pada bagian ini akan dijelaskan langkah-langkah dalam membentuk mobilitas kendaraan pada peta dengan memanfaatkan fitur dari aplikasi SUMO (*Simulation of Urban Mobility*). Berikut langkah-langkah dalam membentuk mobilitas kendaraan adalah sebagai berikut.

1. Melakukan konversi format *file* .osm hasil download dari OSM (*OpenStreetMap*) ke dalam format .net.xml dengan menggunakan program *netconvert*.

```
$ netconvert --osm-files map.osm -o map.net.xml
```


repository.ub.ac.id
UNIVERSITAS BRAWIJAYA

2. Membuat pola pergerakan kendaraan (node) secara acak disertai *file* tambahannya untuk mengatur kecepatan minimal dan maksimal kendaraan serta jumlah node sesuai dengan kondisi jalur pada peta dengan menggunakan program *randomTrips.py*.

```
$ python /home/andremonzigo/sumo-0.32.0/tools/randomTrips.py -n map.net.xml --trip-attributes="type=\"(VARIABEL_TAMBAHAN)\"" --additional-file (NAMA_FILE_TAMBAHAN).add.xml -r map.rou.xml -e (JUMLAH_KENDARAAN) -l
```

3. Membuat *file* .sumo.cfg yang berisi informasi tentang rute pergerakan pada peta. Berikut isi *file* .sumo.cfg.

```
<configuration>
      <input>
            <net-file value=" map.net.xml"/>
            <route-files value=" map.rou.xml"/>
      </input>
<time>
<begin value="0"/>
<end value="180"/>
<step-length value="0.1"/>
</time>
</configuration>
```

4. Melakukan konversi format *file* .sumo.cfg ke dalam .sumo.xml sebagai input untuk membuat mobilitas *file* .tcl.

```
$ sumo -c map.sumo.cfg --fcd-output map.sumo.xml
```

5. Melakukan konversi skenario mobilitas kendaraan ke dalam format .tcl supaya bisa dijalankan di Network Simulator v2.35 dengan menggunakan program *traceExporter.py.*

```
$ python /home/andremonzigo/sumo-0.32.0/tools/traceExporter.py --fcd-input map.sumo.xml --ns2config-output config.tcl --ns2mobility-output mobility.tcl --ns2activity-output activity.tcl
```

Proses tersebut akan menghasilkan pola pergerakan atau mobilitas kendaraan (node) secara acak sesuai dengan kondisi jalur pada peta dan siap digunakan untuk modal simulasi pada Network Simulator v2.35.

repository.ub.ac.id
UNIVERSITAS BRAWIJAYA

4.2.4 Membentuk Simulasi

Dalam membentuk simulasi, *file* utama yang dibutuhkan adalah *file* bernama *tester.tcl* yang berfungsi untuk konfigurasi seluruh kebutuhan simulasi di antaranya konfigurasi jenis protokol *routing*, paket data, waktu simulasi, jumlah node, koordinat area simulasi, dan mobilitas kendaraan.

Dalam menjalankan pembentukan simulasi ini, dibutuhkan *file* tambahan dalam format .add.xml bernama *(namafile).add.xml* sebagai kontrol kecepatan kendaraan (node) dan variabel tambahan *"(int:jumlahnode)"* sebagai kontrol jumlah kendaraan (node) pada pembentukan mobilitas kendaraan yang telah dijelaskan sebelumnya.

Setelah mobilitas kendaraan yang sesuai dengan skenario terbentuk, selanjutnya dilakukan beberapa perubahan variabel pada *file tester.tcl* antara lain adalah mengubah jumlah node pada variabel *val(nn)* dan koordinat area simulasi pada variabel *val(x) val(y)* yang didapatkan dari *file* config.tcl. Setelah dilakukan beberapa perubahan variabel pada *file tester.tcl*, maka *file* tersebut siap dijalankan menggunakan Network Simulator 2 dengan *command* berikut.

```
$ ns tester.tcl
```

File tester.tcl tersebut akan dijalankan sebanyak tiga kali simulasi pada masing-masing skenario untuk mendapatkan tiga hasil implementasi dengan *output* berbeda yang kemudian akan diambil nilai rata-rata dari ketiga *output* tersebut pada sesi pengujian. Setelah *file tester.tcl* tersebut dijalankan dengan sukses maka akan menghasilkan dua *file* baru bernama *tracing.tr* dan *animation.nam. File tracing.tr* berfungsi sebagai *file* log yang nantinya digunakan untuk analisis hasil sedangkan *file animation.nam* berfungsi sebagai animasi pergerakan simulasi dalam aplikasi nam. Untuk menjalankan dan menampilkan animasi pergerakan node dan jaringannya digunakan *tools* NAM dengan command berikut.

```
$ nam animation.nam
```

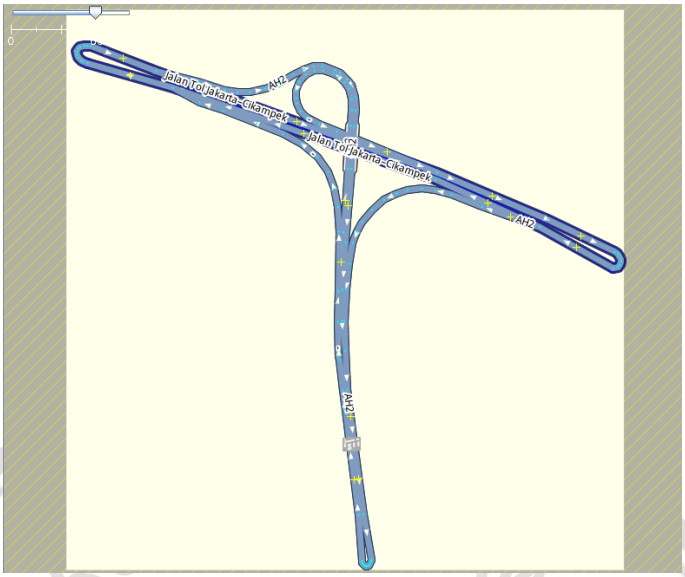
4.2.4.1 Jalan Bebas Hambatan

Pada bagian sebelumnya telah diseleksi peta dengan variasi jalan bebas hambatan yang diunduh dari OSM (*OpenStreetMap*). Sebelum digunakan sebagai salah satu lingkungan simulasi, terlebih dahulu peta ini diedit menggunakan aplikasi *extension* dari OSM yaitu JOSM (*Java OpenStreetMap*). Aplikasi *extension* JOSM tersebut digunakan sebagai media penyuntingan peta yang diambil dari OSM untuk menghapus bagian dari peta yang tidak dibutuhkan, memberikan nilai kecepatan, jumlah ruas jalan, dan jumlah node seperti pada Gambar 4.5. Berikut karakteristik jalan bebas hambatan yang digunakan pada simulasi:

- Kecepatan minimal : 60 Km/jam atau 16.6667 m/detik
- Kecepatan maksimal : 100 Km/jam atau 27.7778 m/detik

repository.ub.ac.id
UNIVERSITAS BRAWIJAYA

- Jumlah ruas jalan : 3 ruas
- Jumlah kendaraan (node) : 100, 200, 300 node



Gambar 4.5 Tampilan jalan bebas hambatan setelah diedit pada JOSM

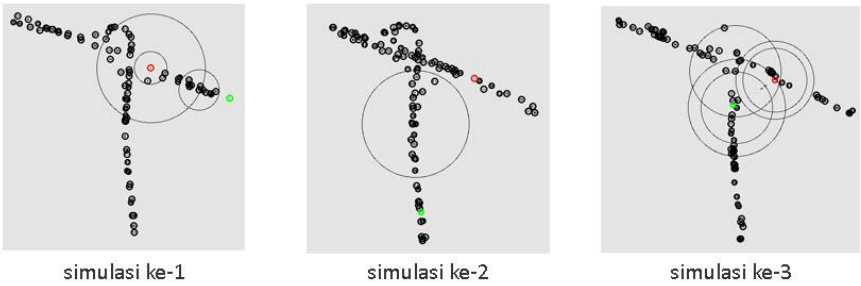
a. Skenario 100 Kendaraan (Node).

Dalam menjalankan implementasi skenario ini, dibutuhkan *file* tambahan dalam format *.add.xml* bernama *100km.add.xml* sebagai kontrol kecepatan kendaraan (node) dan variabel tambahan *"100"* sebagai kontrol jumlah kendaraan (node) pada pembentukan mobilitas kendaraan yang telah dijelaskan sebelumnya. Selanjutnya dilakukan beberapa perubahan variabel pada *file tester.tcl* antara lain adalah mengubah jumlah node pada variabel *val(nn)* dan koordinat area simulasi pada variabel *val(x) val(y)* yang didapatkan dari *file config.tcl*.

```
> val(nn)          100
> val(x)           1083
> val(y)           1034
```

Setelah *file tester.tcl* dijalankan dengan program Network Simulator v2.35, maka akan terbentuk *file tracing* dan *animation*. Berikut adalah tampilan animasi *file animation.nam* yang dijalankan menggunakan *tools* NAM sebagaimana Gambar 4.6. Dimana node hijau sebagai node asal, node merah sebagai node tujuan, dan node hitam sebagai *hop node*. Node-node tersebut akan berjalan menuju titik tujuan tertentu sesuai peraturan jalan yang ada, jika node sudah sampai di titik tujuan maka secara otomatis node akan mencari titik tujuan selanjutnya dan begitu seterusnya hingga waktu simulasi selesai. Hal tersebut dilakukan untuk menjaga kestabilan jumlah node agar tetap sesuai dengan skenario pengujian selama waktu yang ditentukan.

repository.ub.ac.id
UNIVERSITAS BRAWIJAYA



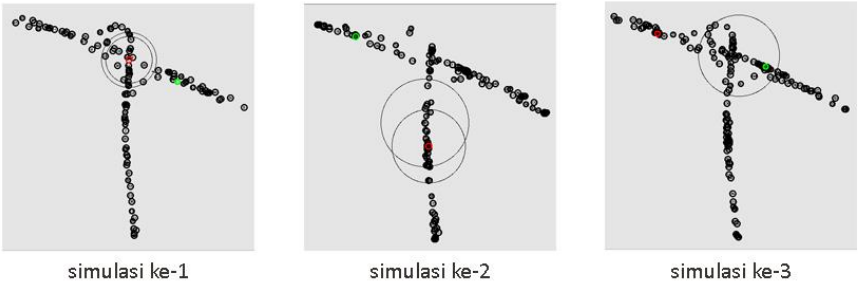
Gambar 4.6 Animasi NAM pada jalan bebas hambatan dengan 100 node

b. Skenario 200 Kendaraan (Node).

Pada skenario ini dibutuhkan *file* tambahan dalam format *.add.xml* bernama *100km.add.xml* untuk kontrol kecepatan maksimal node dan variabel tambahan *"200"* sebagai kontrol jumlah node yang berjalan. Selanjutnya dilakukan beberapa perubahan variabel *val(nn)* dan variabel *val(x) val(y)* pada *file tester.tcl*.

```
> val(nn)          200
> val(x)           1083
> val(y)           1034
```

Berikut adalah tampilan animasi pada *tools* NAM dari *file animation.nam* sebagaimana Gambar 4.7. Node hitam sebagai *hop*, node hijau sebagai node asal, dan node merah sebagai node tujuan.



Gambar 4.7 Animasi NAM pada jalan bebas hambatan dengan 200 node

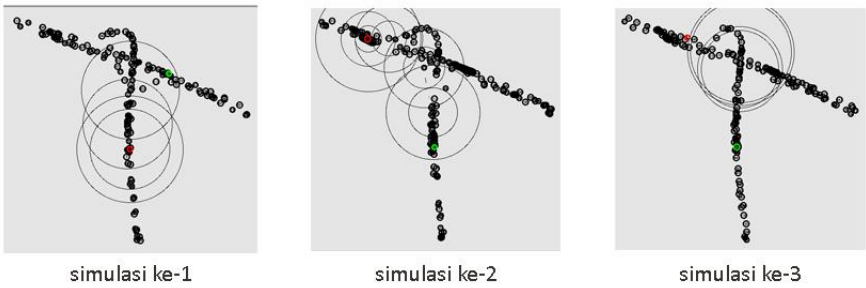
c. Skenario 300 Kendaraan (Node).

Skenario 300 kendaraan (node) membutuhkan *file* tambahan dalam format *.add.xml* bernama *100km.add.xml* dan variabel tambahan *"300"* sebagai kontrol kecepatan maksimal dan jumlah kendaraan (node). Selanjutnya dilakukan beberapa perubahan variabel pada *file tester.tcl* antara lain adalah mengubah jumlah node pada variabel *val(nn)* dan koordinat area simulasi pada variabel *val(x) val(y)* yang didapatkan dari *file config.tcl*.

```
> val(nn)          300
> val(x)           1083
> val(y)           1034
```


repository.ub.ac.id
UNIVERSITAS BRAWIJAYA

Dalam tampilan animasi *file animation.nam* yang dijalankan menggunakan *tools* NAM terdapat node hijau sebagai node asal, node merah sebagai node tujuan, dan node hitam sebagai *hop node* yang berfungsi sebagai perantara alur pengiriman data seperti pada Gambar 4.8 berikut.

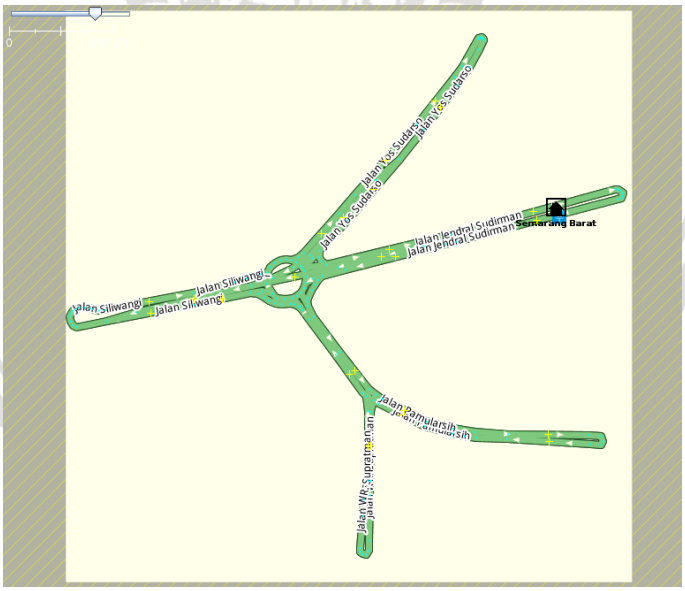


Gambar 4.8 Animasi NAM pada jalan bebas hambatan dengan 300 node

4.2.4.2 Jalan Antar Kota

Sebelum digunakan peta jalan antar kota ini digunakan, terlebih dahulu peta ini diedit menggunakan aplikasi *extension* yaitu JOSM (*Java OpenStreetMap*) seperti pada Gambar 4.9. Berikut karakteristik jalan bebas hambatan pada simulasi:

- Kecepatan maksimal : 80 Km/jam atau 22.2222 m/detik
- Jumlah ruas jalan : 3 ruas
- Jumlah kendaraan (node) : 100, 200, 300 node



Gambar 4.9 Tampilan jalan antar kota setelah diedit pada JOSM

a. Skenario 100 Kendaraan (Node).

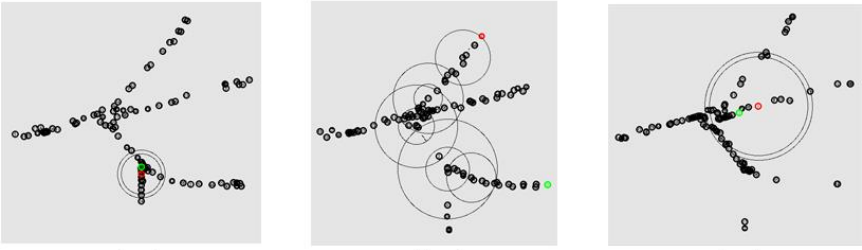
Dalam menjalankan implementasi skenario ini, dibutuhkan *file* tambahan dalam format *.add.xml* bernama *80km.add.xml* sebagai kontrol kecepatan

repository.ub.ac.id
UNIVERSITAS BRAWIJAYA

kendaraan (node) dan variabel tambahan *"100"* sebagai kontrol jumlah kendaraan (node) pada pembentukan mobilitas kendaraan yang telah dijelaskan sebelumnya. Selanjutnya dilakukan beberapa perubahan variabel pada *file tester.tcl* antara lain adalah mengubah jumlah node pada variabel *val(nn)* dan koordinat area simulasi pada variabel *val(x) val(y)* yang didapatkan dari *file config.tcl*.

```
> val(nn)          100
> val(x)           1081
> val(y)           1003
```

Setelah *file tester.tcl* dijalankan dengan program Network Simulator v2.35, maka akan terbentuk *file tracing* dan *animation*. Berikut adalah tampilan animasi *file animation.nam* yang dijalankan menggunakan *tools* NAM sebagaimana Gambar 4.10. Dimana node hijau sebagai node asal, node merah sebagai node tujuan, dan node hitam sebagai *hop node*.



simulasi ke-1 simulasi ke-2 simulasi ke-3

Gambar 4.10 Animasi NAM pada jalan antar kota dengan 100 node

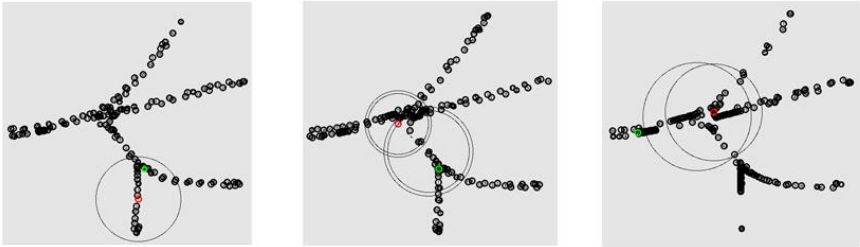
b. Skenario 200 Kendaraan (Node).

Pada skenario ini dibutuhkan *file* tambahan dalam format *.add.xml* bernama *80km.add.xml* untuk kontrol kecepatan maksimal node dan variabel tambahan *"200"* sebagai kontrol jumlah node yang berjalan. Selanjutnya dilakukan beberapa perubahan variabel *val(nn)* dan variabel *val(x) val(y)* pada *file tester.tcl*.

```
> val(nn)          200
> val(x)           1081
> val(y)           1003
```

Berikut adalah tampilan animasi pada *tools* NAM dari *file animation.nam* sebagaimana Gambar 4.11. Node hitam sebagai *hop*, node hijau sebagai node asal, dan node merah sebagai node tujuan.

repository.ub.ac.id
UNIVERSITAS BRAWIJAYA



simulasi ke-1 simulasi ke-2 simulasi ke-3

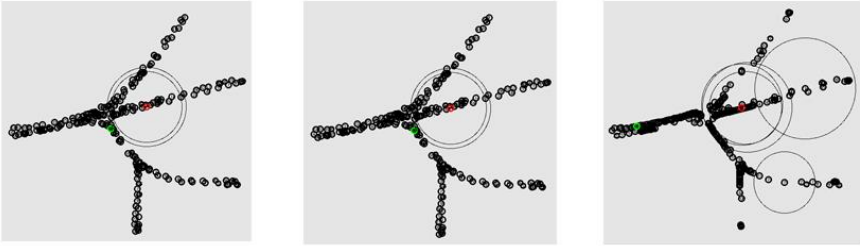
Gambar 4.11 Animasi NAM pada jalan antar kota dengan 200 node

c. Skenario 300 Kendaraan (Node).

Skenario 300 kendaraan (node) membutuhkan *file* tambahan dalam format *.add.xml* bernama *80km.add.xml* dan variabel tambahan *"300"* sebagai kontrol kecepatan maksimal dan jumlah kendaraan (node). Selanjutnya dilakukan beberapa perubahan variabel pada *file tester.tcl* antara lain adalah mengubah jumlah node pada variabel *val(nn)* dan koordinat area simulasi pada variabel *val(x) val(y)* yang didapatkan dari *file config.tcl*.

```
> val(nn)          300
> val(x)           1081
> val(y)           1003
```

Dalam tampilan animasi *file animation.nam* yang dijalankan menggunakan *tools* NAM terdapat node hijau sebagai node asal, node merah sebagai node tujuan, dan node hitam sebagai *hop node* yang berfungsi sebagai perantara alur pengiriman data seperti pada Gambar 4.12 berikut.



simulasi ke-1 simulasi ke-2 simulasi ke-3

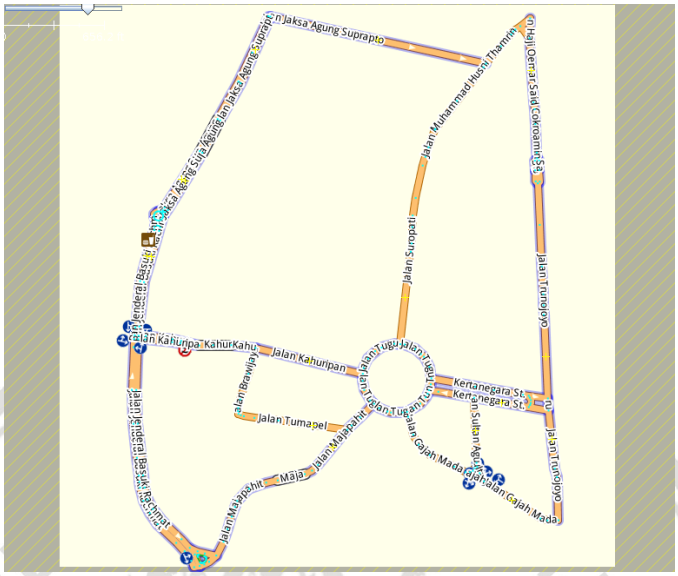
Gambar 4.12 Animasi NAM pada jalan antar kota dengan 300 node

4.2.4.3 Jalan Perkotaan

Pada bagian perancangan telah diseleksi peta jalan perkotaan dengan luas wilayah 1000 m x 1000. Setelah itu peta ini diedit menggunakan aplikasi *extension* yaitu JOSM (*Java OpenStreetMap*) untuk menghapus bagian dari peta yang tidak dibutuhkan seperti pada Gambar 4.13, memberikan nilai kecepatan, jumlah ruas jalan, dan jumlah node agar memudahkan proses simulasi dan proses analisis di bagian selanjutnya. Berikut karakteristik jalan perkotaan yang digunakan pada simulasi:

repository.ub.ac.id
UNIVERSITAS BRAWIJAYA

- Kecepatan maksimal : 50 Km/jam atau 13.8889 m/detik
- Jumlah ruas jalan : 2 ruas
- Jumlah kendaraan (node) : 100, 200, 300 node



Gambar 4.13 Tampilan jalan perkotaan setelah diedit pada JOSM

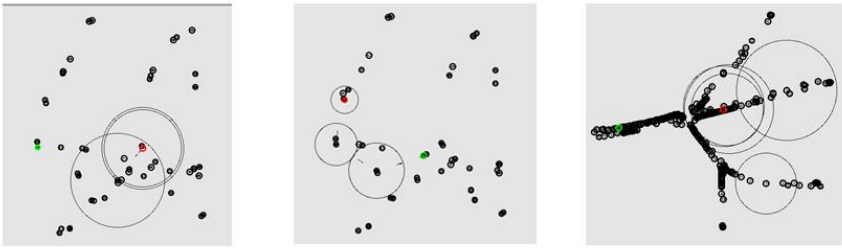
a. Skenario 100 Kendaraan (Node).

Dalam menjalankan implementasi skenario ini, dibutuhkan *file* tambahan dalam format *.add.xml* bernama *50km.add.xml* sebagai kontrol kecepatan kendaraan (node) dan variabel tambahan *"100"* sebagai kontrol jumlah kendaraan (node) pada pembentukan mobilitas kendaraan yang telah dijelaskan sebelumnya. Selanjutnya dilakukan beberapa perubahan variabel pada *file tester.tcl* antara lain adalah mengubah jumlah node pada variabel *val(nn)* dan koordinat area simulasi pada variabel *val(x) val(y)* yang didapatkan dari *file config.tcl*.

```
> val(nn)          100
> val(x)           847
> val(y)           1083
```

Setelah *file tester.tcl* dijalankan dengan program Network Simulator v2.35, maka akan terbentuk *file tracing* dan *animation*. Berikut adalah tampilan animasi *file animation.nam* yang dijalankan menggunakan *tools* NAM sebagaimana Gambar 4.14. Dimana node hijau sebagai node asal, node merah sebagai node tujuan, dan node hitam sebagai *hop node*.

repository.ub.ac.id
UNIVERSITAS BRAWIJAYA



simulasi ke-1 simulasi ke-2 simulasi ke-3

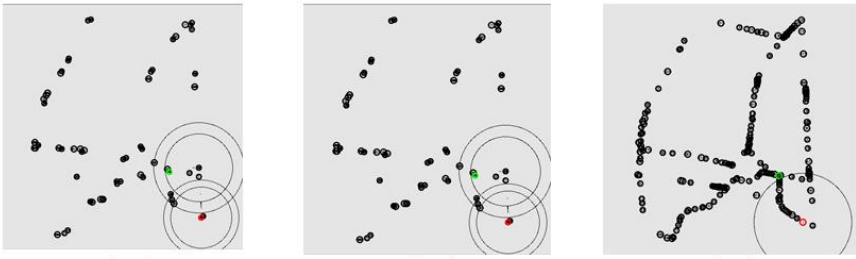
Gambar 4.14 Animasi NAM pada jalan perkotaan dengan 100 node

b. Skenario 200 Kendaraan (Node).

Pada skenario ini dibutuhkan *file* tambahan dalam format *.add.xml* bernama *50km.add.xml* untuk kontrol kecepatan maksimal node dan variabel tambahan "200" sebagai kontrol jumlah node yang berjalan. Selanjutnya dilakukan beberapa perubahan variabel *val(nn)* dan variabel *val(x) val(y)* pada *file tester.tcl*.

```
> val(nn)          200
> val(x)           1847
> val(y)           1086
```

Berikut adalah tampilan animasi pada *tools* NAM dari *file animation.nam* sebagaimana Gambar 4.15.



simulasi ke-1 simulasi ke-2 simulasi ke-3

Gambar 4.15 Animasi NAM pada jalan perkotaan dengan 200 node

c. Skenario 300 Kendaraan (Node).

Skenario 300 kendaraan (node) membutuhkan *file* tambahan dalam format *.add.xml* bernama *50km.add.xml* dan variabel tambahan *"300"* sebagai kontrol kecepatan maksimal dan jumlah kendaraan (node). Selanjutnya dilakukan beberapa perubahan variabel pada *file tester.tcl* antara lain adalah mengubah jumlah node pada variabel *val(nn)* dan koordinat area simulasi pada variabel *val(x) val(y)* yang didapatkan dari *file config.tcl*.

```
> val(nn)          300
> val(x)           847
> val(y)           1086
```


repository.ub.ac.id
UNIVERSITAS BRAWIJAYA

Dalam tampilan animasi *file animation.nam* yang dijalankan menggunakan *tools* NAM terdapat node hijau sebagai node asal, node merah sebagai node tujuan, dan node hitam sebagai *hop node* yang berfungsi sebagai perantara alur pengiriman data seperti pada Gambar 4.16.

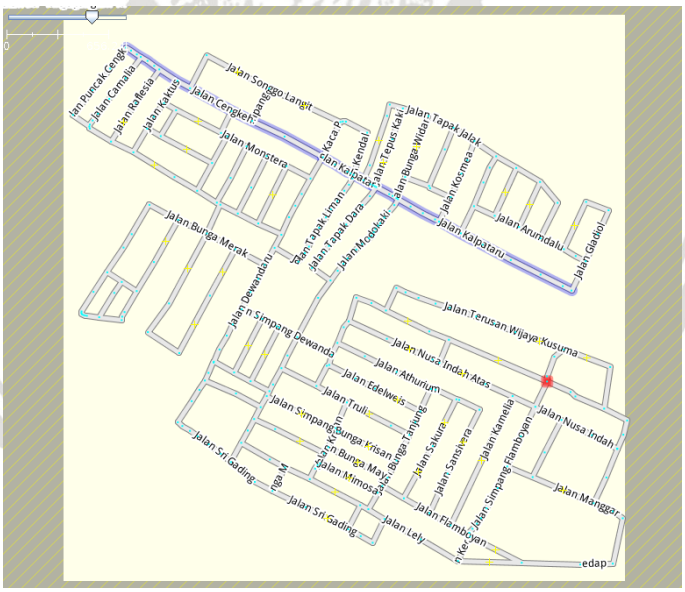
simulasi ke-1 simulasi ke-2 simulasi ke-3

Gambar 4.16 Animasi NAM pada jalan perkotaan dengan 300 node

4.2.4.4 Jalan Permukiman

Peta jalan permukiman ini akan diedit menggunakan aplikasi *extension* yaitu JOSM (*Java OpenStreetMap*) untuk melakukan *custom* kondisi jalan dan mengubah beberapa variabel sehingga sesuai dengan skenario simulasi seperti pada Gambar 4.17. Berikut karakteristik jalan bebas hambatan pada simulasi:

- Kecepatan maksimal : 30 Km/jam atau 8.33333 m/detik
- Jumlah ruas jalan : 1 ruas
- Jumlah kendaraan (node) : 100, 200, 300 node



Gambar 4.17 Tampilan jalan permukiman setelah diedit pada JOSM

a. Skenario 100 Kendaraan (Node).

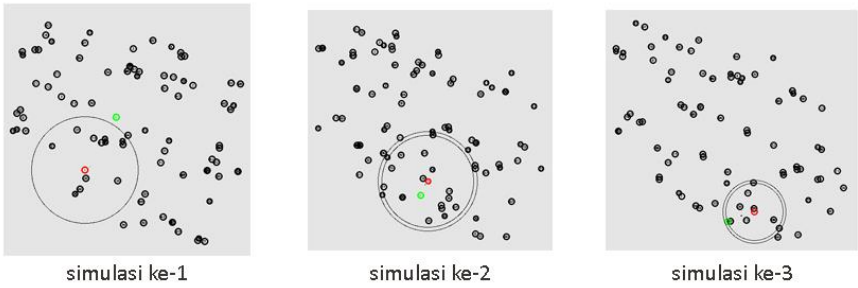
Dalam menjalankan implementasi skenario ini, dibutuhkan *file* tambahan dalam format *.add.xml* bernama *30km.add.xml* sebagai kontrol kecepatan kendaraan (node) dan variabel tambahan *"100"* sebagai kontrol jumlah kendaraan

repository.ub.ac.id
UNIVERSITAS BRAWIJAYA

(node) pada pembentukan mobilitas kendaraan yang telah dijelaskan sebelumnya. Selanjutnya dilakukan beberapa perubahan variabel pada *file tester.tcl* antara lain adalah mengubah jumlah node pada variabel *val(nn)* dan koordinat area simulasi pada variabel *val(x) val(y)* yang didapatkan dari *file config.tcl*.

```
> val(nn)          100
> val(x)           1089
> val(y)           1000
```

Setelah *file tester.tcl* dijalankan dengan program Network Simulator v2.35, maka akan terbentuk *file tracing* dan *animation*. Berikut adalah tampilan animasi *file animation.nam* yang dijalankan menggunakan *tools* NAM sebagaimana Gambar 4.18. Dimana node hijau sebagai node asal, node merah sebagai node tujuan, dan node hitam sebagai *hop node*.



Gambar 4.18 Animasi NAM pada jalan permukiman dengan 100 node

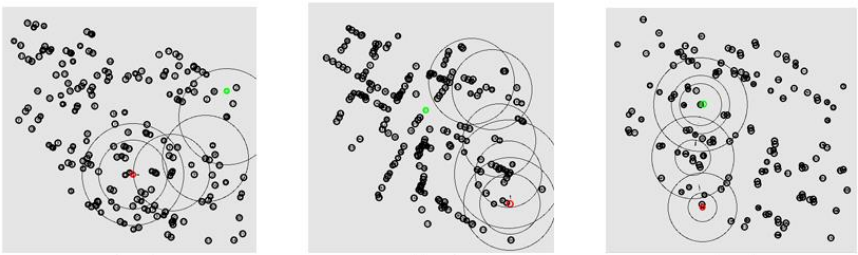
b. Skenario 200 Kendaraan (Node).

Pada skenario ini dibutuhkan *file* tambahan dalam format *.add.xml* bernama *30km.add.xml* untuk kontrol kecepatan maksimal node dan variabel tambahan "200" sebagai kontrol jumlah node yang berjalan. Selanjutnya dilakukan beberapa perubahan variabel *val(nn)* dan variabel *val(x) val(y)* pada *file tester.tcl*.

```
> val(nn)          200
> val(x)           1069
> val(y)           1044
```

Setelah *file tester.tcl* dijalankan dengan program Network Simulator v2.35, maka akan terbentuk *file tracing* dan *animation*. Berikut adalah tampilan animasi *file animation.nam* yang dijalankan menggunakan *tools* NAM sebagaimana Gambar 4.19. Dimana node hijau sebagai node asal, node merah sebagai node tujuan, dan node hitam sebagai *hop node*.

repository.ub.ac.id
UNIVERSITAS BRAWIJAYA



simulasi ke-1 simulasi ke-2 simulasi ke-3

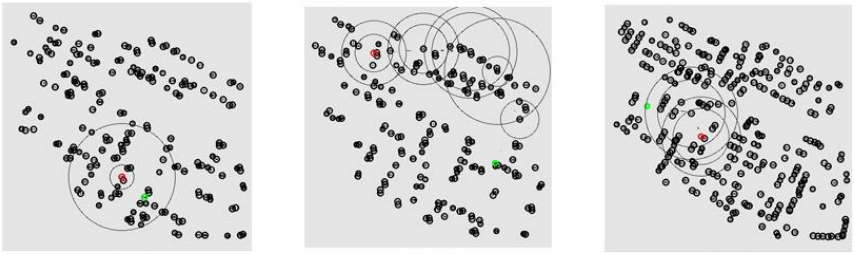
Gambar 4.19 Animasi NAM pada jalan permukiman dengan 200 node

c. Skenario 300 Kendaraan (Node).

Skenario 300 kendaraan (node) membutuhkan *file* tambahan dalam format *.add.xml* bernama *30km.add.xml* dan variabel tambahan *"300"* sebagai kontrol kecepatan maksimal dan jumlah kendaraan (node). Selanjutnya dilakukan beberapa perubahan variabel pada *file tester.tcl* antara lain adalah mengubah jumlah node pada variabel *val(nn)* dan koordinat area simulasi pada variabel *val(x) val(y)* yang didapatkan dari *file config.tcl*.

```
> val(nn)          300
> val(x)           1085
> val(y)           1014
```

Dalam tampilan animasi *file animation.nam* yang dijalankan menggunakan *tools* NAM terdapat node hijau sebagai node asal, node merah sebagai node tujuan, dan node hitam sebagai *hop node* yang berfungsi sebagai perantara alur pengiriman data seperti yang terlihat pada Gambar 4.20.



simulasi ke-1 simulasi ke-2 simulasi ke-3

Gambar 4.20 Animasi NAM pada jalan permukiman dengan 300 node

4.3 Penarikan Data

Dalam melakukan pengujian dan analisis diperlukan penarikan data untuk mengambil *output* nilai yang dihasilkan dari proses pengujian sehingga nantinya bisa dianalisis sesuai parameter pengujiannya. Penarikan data pada penelitian ini dilakukan dengan menggunakan *file .awk* yang dijalankan oleh *tools gawk* pada Ubuntu 16.04. *File .awk* yang diberi nama *analyze.awk* tersebut berisikan *code* untuk melakukan kalkulasi hasil output *file tracing.tr* terhadap beberapa

repository.ub.ac.id
UNIVERSITAS BRAWIJAYA

parameter pengujian yaitu *average throughput, packet delivery ratio* dan *end-to-end delay.* Berikut *command* untuk menjalankan program *.awk* tersebut.

```
$ gawk -f analyze.awk tracing.tr
```

Command tersebut secara berurutan menjelaskan tentang *tools* yang digunakan, *file .awk* yang dipanggil dan *file .tr* yang dipanggil pada direktori yang sama.

repository.ub.ac.id
UNIVERSITAS BRAWIJAYA

BAB 5 HASIL DAN PEMBAHASAN

Pada bagian ini akan dijelaskan tentang hasil pengujian disertai analisis dari beberapa skenario pada bagian sebelumnya. Bagian ini menjelaskan lebih rinci terkait hasil pengujian dan pembahasannya sehingga dapat dijadikan acuan pada bagian kesimpulan yang akan dijelaskan pada bab berikutnya.

5.1 Hasil Pengujian

Pada sub-bab ini akan dijelaskan lebih detail terkait hasil pengujian yang dilakukan. Hasil pengujian pada bagian ini didasarkan oleh variasi model jalan yang ada di Indonesia berdasarkan Peraturan Menteri Perhubungan Republik Indonesia Nomor PM 111 Tahun 2015 tentang Tata Cara Penetapan Batas Kecepatan Pasal 3 Ayat 2 dan Pasal 3 Ayat 4. Berikut model jalan yang disimulasikan.

1. Model jalan bebas hambatan.

   Area Kota Cikarang (Jalan Tol Cikampek) dengan panjang jalan 3.992 mi atau 6.424 km. Kecepatan minimal 60 km/jam dan kecepatan maksimal 100 km/jam.

2. Model jalan antar kota.

   Area Kota Semarang (Jalan Kalibanteng) dengan panjang jalan 4.268 mi atau 6.868 km. Kecepatan maksimal 80 km/jam.

3. Model jalan perkotaan.

   Area Kota Malang (sekitar Kelurahan Kauman) dengan panjang jalan 4.842 mi atau 7.213 km. Kecepatan maksimal 50 km/jam.

4. Model jalan permukiman.

   Area Kota Malang (sekitar Kelurahan Jatimulyo) dengan panjang jalan 10.973 mi atau 17.659 km. Kecepatan maksimal 30 km/jam.

Penjelasan lebih lanjut tentang hasil pengujian pada sub-bab ini akan dijelaskan di bagian selanjutnya.

5.1.1 Hasil Pengujian Model Jalan Bebas Hambatan

Pada model jalan bebas hambatan dilakukan simulasi dengan mengambil peta jalan bebas hambatan yang telah dijelaskan pada bab sebelumnya dan memberikan variabel kecepatan maksimal sebesar 100 km/jam (27.7778 m/detik) dan kecepatan minimal 60 km/jam (16.6667 m/detik) pada masing-masing skenario yang telah ditentukan. Berdasarkan hasil pengujian model jalan bebas hambatan pada masing-masing ketiga simulasi percobaannya, maka dapat diambil nilai pengujian rata-rata dari ketiga simulasi percobaan tersebut seperti Tabel 5.1 berikut.

repository.ub.ac.id
UNIVERSITAS BRAWIJAYA

Tabel 5.1 Hasil rata-rata pengujian model jalan bebas hambatan

BEBAS HAMBATAN (100)			
Detik ke-	**THP (KBps)**	**PDR (%)**	**Delay (detik)**
30s	13,06	4,83	0,27667
60s	91,91	34,31	0,10400
90s	133,49	50,13	0,14817
120s	163,19	61,50	0,10042
150s	178,28	66,97	0,11411
180s	192,03	72,14	0,09052
avg	**128,66**	**48,31**	**0,13898**
BEBAS HAMBATAN (200)			
Detik ke-	**THP (KBps)**	**PDR (%)**	**Delay (detik)**
30s	9,00	3,37	0,28676
60s	103,71	38,78	0,11923
90s	132,50	49,62	0,13385
120s	152,60	57,17	0,12968
150s	156,97	58,10	0,16092
180s	164,24	61,65	0,13009
avg	**119,84**	**44,78**	**0,16009**
BEBAS HAMBATAN (300)			
Detik ke-	**THP (KBps)**	**PDR (%)**	**Delay (detik)**
30s	8,52	3,19	0,09875
60s	71,87	23,89	0,13257
90s	96,63	30,54	0,13092
120s	88,17	32,71	0,14945
150s	111,42	41,83	0,15351
180s	139,14	47,04	0,18206
avg	**85,96**	**29,87**	**0,14121**

repository.ub.ac.id
UNIVERSITAS BRAWIJAYA

Dengan tabel tersebut, dihasilkan beberapa nilai dari ketiga simulasi yang dijalankan. Adapun hasil pengujian pada model jalan bebas hambatan dengan 100 node sebagai berikut.

- Nilai *average throughput* berdasarkan masing-masing waktu secara berurutan yaitu 13,06 KBps, 91,91 KBps, 133,49 KBps, 163,19 KBps, 178,28 KBps, 192,03 KBps dengan nilai rata-rata 128,66 KBps
- *Packet delivery ratio* yang dihasilkan secara berurutan antara lain 4,83 %, 34,31 %, 50,13 %, 61,50 %, 66,97 %, 72,14 % dan nilai rerata sebesar 48,31 %
- Hasil *end-to-end delay* secara berurutan 0,27667 detik, 0,10400 detik, 0,14817 detik, 0,10042 detik 0,11411 detik, 0,09052 detik dengan rerata bernilai 0,13898 detik

Sedangkan hasil pengujian pada model jalan bebas hambatan dengan 200 node adalah sebagai berikut.

- *Average throughput* berdasarkan masing-masing waktu secara berurutan yaitu 9,00 KBps, 103,71 KBps, 132,50 KBps, 152,60 KBps, 156,97 KBps, 164,24 KBps dengan nilai rata-rata 119,84 KBps
- *Packet delivery ratio* yang dihasilkan secara berurutan antara lain 3,37 %, 38,78 %, 49,62 %, 57,17 %, 58,10 %, 61,65 % dan nilai rerata sebesar 44,78 %
- Hasil *end-to-end delay* secara berurutan 0,28676 detik, 0,11923 detik, 0,13385 detik, 0,12968 detik 0,16092 detik, 0,13009 detik dengan rerata bernilai 0,16009 detik

Adapun hasil pengujian pada model jalan bebas hambatan dengan 300 node sebagai berikut.

- Hasil *average throughput* berdasarkan masing-masing waktu secara berurutan yaitu 8,52 KBps, 71,87 KBps, 96,63 KBps, 88,17 KBps, 111,42 KBps, 139,14 KBps dengan nilai rata-rata 85,96 KBps
- *Packet delivery ratio* yang dihasilkan secara berurutan antara lain 3,19 %, 23,89 %, 30,54 %, 32,71 %, 41,83 %, 47,04 % dan nilai rerata sebesar 29,87 %
- *End-to-end delay* secara berurutan 0,09875 detik, 0,13257 detik, 0,13092 detik, 0,14945 detik 0,15351 detik, 0,18206 detik dengan rerata bernilai 0,14121 detik

5.1.2 Hasil Pengujian Model Jalan Antar Kota

Simulasi model jalan antar kota dilakukan dengan mengambil peta jalan yang sesuai dengan karakteristik jalan antar kota dari OSM (*OpenStreetMap*) yang telah dijelaskan pada bab sebelumnya dengan kecepatan maksimal 80 km/jam (22.2222 m/detik) pada setiap skenario. Dari hasil pengujian model jalan antar kota yang telah dilakukan pada masing-masing ketiga simulasi percobaan, dapat diketahui nilai pengujian rata-rata dari simulasi yang dilakukan pada percobaan tersebut seperti Tabel 5.2 berikut.

repository.ub.ac.id
UNIVERSITAS BRAWIJAYA

Tabel 5.2 Hasil rata-rata pengujian model jalan antar kota

ANTAR KOTA (100)			
Detik ke-	THP (KBps)	PDR (%)	Delay (detik)
30s	234,21	82,52	0,08754
60s	230,56	86,57	0,08839
90s	242,08	90,95	0,05842
120s	245,94	92,62	0,05898
150s	249,87	93,90	0,04822
180s	169,39	94,22	0,04255
avg	**228,68**	**90,13**	**0,06402**
ANTAR KOTA (200)			
Detik ke-	THP (KBps)	PDR (%)	Delay (detik)
30s	104,98	23,52	0,21732
60s	135,23	50,78	0,12382
90s	178,80	67,16	0,06286
120s	191,97	64,30	0,05134
150s	176,87	59,14	0,05327
180s	165,20	62,08	0,04949
avg	**158,84**	**54,50**	**0,09302**
ANTAR KOTA (300)			
Detik ke-	THP (KBps)	PDR (%)	Delay (detik)
30s	8,43	3,16	0,09933
60s	53,82	20,20	0,12494
90s	86,56	31,67	0,09961
120s	98,27	32,68	0,07376
150s	109,33	41,33	0,05847
180s	130,08	48,67	0,04810
avg	**81,08**	**29,62**	**0,08403**

repository.ub.ac.id
UNIVERSITAS BRAWIJAYA

Pada tabel hasil tersebut, dapat diketahui beberapa hasil keseluruhan simulasi yang telah dilakukan pada model jalan antar kota. Hasil pengujian dengan 100 node sebagai berikut.

- Nilai *average throughput* berdasarkan masing-masing waktu secara berurutan yaitu 234,21 KBps, 230,56 KBps, 242,08 KBps, 245,94 KBps, 249,87 KBps, 169,39 KBps dengan nilai rata-rata 228,68 KBps
- *Packet delivery ratio* yang dihasilkan secara berurutan antara lain 82,52 %, 86,57 %, 90,95 %, 92,62 %, 93,90 %, 94,22 % dan nilai rerata sebesar 90,13 %
- Hasil *end-to-end delay* secara berurutan 0,08754 detik, 0,08839 detik, 0,05842 detik, 0,05898 detik 0,04822 detik, 0,04255 detik dengan rerata bernilai 0,06402 detik

Hasil pengujian pada model jalan antar kota dengan 200 node adalah sebagai berikut.

- *Average throughput* berdasarkan masing-masing waktu secara berurutan yaitu 104,98 KBps, 135,23 KBps, 178,80 KBps, 191,97KBps, 176,87 KBps, 165,20 KBps dengan nilai rata-rata 158,84 KBps
- *Packet delivery ratio* yang dihasilkan secara berurutan antara lain 23,52 %, 50,78 %, 67,16 %, 64,30 %, 59,14 %, 62,08 % dan nilai rerata sebesar 54,50 %
- Hasil *end-to-end delay* secara berurutan 0,21732 detik, 0,12382 detik, 0,06286 detik, 0,05134 detik 0,05327 detik, 0,04949 detik dengan rerata bernilai 0,09302 detik

Adapun hasil pengujian pada model jalan bebas hambatan dengan 300 node sebagai berikut.

- Hasil *average throughput* berdasarkan masing-masing waktu secara berurutan yaitu 8,43 KBps, 52,82 KBps, 86,56 KBps, 98,27 KBps, 109,33 KBps, 130,08 KBps dengan nilai rata-rata 81,08 KBps
- *Packet delivery ratio* yang dihasilkan secara berurutan antara lain 3,16 %, 20,20 %, 31,67 %, 32,68 %, 41,33 %, 48,67 % dan nilai rerata sebesar 29,62 %
- *End-to-end delay* secara berurutan 0,09933 detik, 0,12494 detik, 0,09961 detik, 0,07376 detik 0,05847 detik, 0,04810 detik dengan rerata bernilai 0,08403 detik

5.1.3 Hasil Pengujian Model Jalan Perkotaan

Pada model jalan perkotaan dilakukan dengan memberlakukan variabel kecepatan maksimal 50 km/jam (13.8889 m/detik) pada peta jalan perkotaan yang diambil dari peta nyata di Indonesia yang telah dijelaskan pada bab sebelumnya. Hasil pengujian model jalan perkotaan tersebut dilakukan pada masing-masing ketiga simulasi percobaannya, kemudian dapat disimpulkan nilai pengujian rata-rata dari ketiga simulasi percobaan model jalan perkotaan tersebut seperti Tabel 5.3 berikut.

repository.ub.ac.id
UNIVERSITAS BRAWIJAYA

Tabel 5.3 Hasil rata-rata pengujian model jalan perkotaan

PERKOTAAN (100)			
Detik ke-	THP (KBps)	PDR (%)	Delay (detik)
30s	229,53	85,96	0,07669
60s	244,55	91,73	0,04675
90s	206,89	90,19	0,05780
120s	245,53	92,22	0,05004
150s	249,07	93,58	0,04329
180s	250,24	94,04	0,03928
avg	**237,64**	**91,29**	**0,05231**
PERKOTAAN (200)			
Detik ke-	THP (KBps)	PDR (%)	Delay (detik)
30s	97,35	33,67	0,10171
60s	166,56	62,53	0,04110
90s	199,46	74,90	0,02465
120s	209,42	78,66	0,02547
150s	216,88	81,48	0,02298
180s	224,82	84,47	0,02221
avg	**185,75**	**69,28**	**0,03969**
PERKOTAAN (300)			
Detik ke-	THP (KBps)	PDR (%)	Delay (detik)
30s	205,21	65,16	0,10802
60s	206,27	76,91	0,10213
90s	215,97	71,56	0,08776
120s	223,93	70,06	0,07894
150s	193,72	68,40	0,06771
180s	195,91	73,64	0,05442
avg	**206,83**	**70,96**	**0,08316**

repository.ub.ac.id
UNIVERSITAS BRAWIJAYA

Berdasarkan tabel di atas, dapat dijelaskan beberapa nilai dari semua simulasi yang dilakukan pada model jalan perkotaan dengan hasil pengujian 100 node sebagai berikut.

- Nilai *average throughput* berdasarkan masing-masing waktu secara berurutan yaitu 229,53 KBps, 244,55 KBps, 206,89 KBps, 245,53 KBps, 249,07 KBps, 250,24 KBps dengan nilai rata-rata 237,64 KBps
- *Packet delivery ratio* yang dihasilkan secara berurutan antara lain 85,96 %, 91,73 %, 90,19 %, 92,22 %, 93,58 %, 94,04 % dan nilai rerata sebesar 91,29 %
- Hasil *end-to-end delay* secara berurutan 0,07669 detik, 0,04675 detik, 0,05780 detik, 0,05004 detik 0,04329 detik, 0,03928 detik dengan rerata bernilai 0,05231 detik

Sedangkan hasil pengujian pada model jalan perkotaan dengan 200 node adalah sebagai berikut.

- *Average throughput* berdasarkan masing-masing waktu secara berurutan yaitu 97,35 KBps, 166,56 KBps, 199,46 KBps, 209,42 KBps, 216,88 KBps, 224,82 KBps dengan nilai rata-rata 185,75 KBps
- *Packet delivery ratio* yang dihasilkan secara berurutan antara lain 33,67 %, 62,53 %, 74,90 %, 78,66 %, 81,48 %, 84,47 % dan nilai rerata sebesar 69,28 %
- Hasil *end-to-end delay* secara berurutan 0,10171 detik, 0,04110 detik, 0,02465 detik, 0,02547 detik 0,02298 detik, 0,02221 detik dengan rerata bernilai 0,03969 detik

Hasil pengujian pada model jalan perkotaan dengan 300 node adalah sebagai berikut.

- Hasil *average throughput* berdasarkan masing-masing waktu secara berurutan yaitu 205,21 KBps, 206,27 KBps, 215,97 KBps, 223,93 KBps, 193,72 KBps, 195,91 KBps dengan nilai rata-rata 206,83 KBps
- *Packet delivery ratio* yang dihasilkan secara berurutan antara lain 65,16 %, 76,91 %, 71,56 %, 70,06 %, 68,40 %, 73,64 % dan nilai rerata sebesar 70,96 %
- *End-to-end delay* secara berurutan 0,10802 detik, 0,10213 detik, 0,08776 detik, 0,07894 detik 0,06771 detik, 0,05442 detik dengan rerata bernilai 0,08316 detik

5.1.4 Hasil Pengujian Model Jalan Permukiman

Simulasi model jalan permukiman dilakukan dengan mengambil peta jalan menyerupai jalan permukiman di Indonesia yang telah dijelaskan pada bab sebelumnya kemudian diberikan variabel kecepatan maksimal 30 km/jam (8.33333 m/detik) pada masing-masing skenario yang telah ditentukan. Berdasarkan hasil pengujian model jalan permukiman yang telah dilakukan pada masing-masing ketiga simulasi percobaannya, dapat diambil nilai pengujian rata-rata model jalan perkotaan tersebut seperti Tabel 5.4 berikut.

repository.ub.ac.id
UNIVERSITAS BRAWIJAYA

Tabel 5.4 Hasil rata-rata pengujian model jalan permukiman

PERMUKIMAN (100)			
Detik ke-	THP (KBps)	PDR (%)	Delay (detik)
30s	262,41	98,35	0,01816
60s	262,32	98,46	0,02222
90s	261,33	98,13	0,02279
120s	262,39	98,56	0,01878
150s	263,08	98,84	0,01551
180s	263,51	99,01	0,01382
avg	**262,51**	**98,56**	**0,01855**
PERMUKIMAN (200)			
Detik ke-	THP (KBps)	PDR (%)	Delay (detik)
30s	170,85	63,10	0,02285
60s	175,08	65,73	0,11561
90s	205,26	77,10	0,02652
120s	206,23	77,48	0,02763
150s	217,40	81,68	0,02751
180s	225,40	84,69	0,02516
avg	**200,04**	**74,96**	**0,04088**
PERMUKIMAN (300)			
Detik ke-	THP (KBps)	PDR (%)	Delay (detik)
30s	133,60	50,05	0,05431
60s	184,96	59,39	0,04574
90s	191,13	47,96	0,04684
120s	187,23	57,56	0,03983
150s	171,46	64,42	0,03459
180s	187,21	70,34	0,02736
avg	**175,93**	**58,29**	**0,04144**

repository.ub.ac.id
UNIVERSITAS BRAWIJAYA

Dari tabel tersebut, dapat diketahui beberapa nilai keseluruhan simulasi pada model jalan permukiman. Adapun hasil pengujian pada model jalan permukiman dengan 100 node sebagai berikut.

- Nilai *average throughput* berdasarkan masing-masing waktu secara berurutan yaitu 262,41 KBps, 262,32 KBps, 261,33 KBps, 262,39 KBps, 263,08 KBps, 263,51 KBps dengan nilai rata-rata 262,51 KBps
- *Packet delivery ratio* yang dihasilkan secara berurutan antara lain 98,35 %, 98,46 %, 98,13 %, 98,56 %, 98,84 %, 99,01 % dan nilai rerata sebesar 98,56 %
- Hasil *end-to-end delay* secara berurutan 0,01816 detik, 0,02222 detik, 0,02279 detik, 0,01878 detik 0,01551 detik, 0,01382 detik dengan rerata bernilai 0,01855 detik

Adapun hasil pengujian pada model jalan permukiman dengan 200 node adalah sebagai berikut.

- *Average throughput* berdasarkan masing-masing waktu secara berurutan yaitu 170,85 KBps, 175,08 KBps, 205,26 KBps, 206,23 KBps, 217,40 KBps, 225,40 KBps dengan nilai rata-rata 200,04 KBps
- *Packet delivery ratio* yang dihasilkan secara berurutan antara lain 63,10 %, 65,73 %, 77,10 %, 77,48 %, 81,68 %, 84,69 % dan nilai rerata sebesar 74,96 %
- Hasil *end-to-end delay* secara berurutan 0,02285 detik, 0,11561 detik, 0,02652 detik, 0,02763 detik 0,02751 detik, 0,02516 detik dengan rerata bernilai 0,04088 detik

Sedangkan hasil pengujian pada model jalan permukiman dengan 300 node sebagai berikut.

- Hasil *average throughput* berdasarkan masing-masing waktu secara berurutan yaitu 133,60 KBps, 184,96 KBps, 191,13 KBps, 187,23 KBps, 171,46 KBps, 187,21 KBps dengan nilai rata-rata 175,93 KBps
- *Packet delivery ratio* yang dihasilkan secara berurutan antara lain 50,05 %, 59,39 %, 47,96 %, 57,56 %, 64,42 %, 70,34 % dan nilai rerata sebesar 58,29 %
- *End-to-end delay* secara berurutan 0,05431 detik, 0,04574 detik, 0,04684 detik, 0,03983 detik 0,03459 detik, 0,02736 detik dengan rerata bernilai 0,04144 detik

5.2 Analisis Hasil

Pada bagian ini akan dijelaskan lebih detail terkait analisis dari hasil pengujian yang dilakukan. Analisis hasil pada bagian ini didasarkan pada beberapa parameter pengujian untuk mengukur kinerja protokol *routing* AODV di jaringan VANET pada masing-masing variasi model jalan yang telah dirancang sebelumnya yaitu:

repository.ub.ac.id
UNIVERSITAS BRAWIJAYA

1. *Average throughput* dengan satuan *kilo byte per second* (KBps atau KB/s).

   Kecepatan rata-rata data yang dikirimkan pada jaringan antara node awal menuju node tujuan yang diinginkan dalam interval waktu tertentu.

2. *Packet delivery ratio* dengan satuan persen (%).

   Rasio perbandingan antara banyaknya paket yang diterima oleh node tujuan dengan banyaknya paket yang dikirim oleh node asal.

3. *End-to-end delay* dengan satuan detik (s).

   Waktu tunggu atau tunda saat paket ditransmisikan dari node asal ke node tujuan.

Penjelasan lebih lanjut tentang analisis dari hasil pengujian pada sub-bab ini akan dijelaskan di bagian selanjutnya.

5.2.1 Analisis Kinerja AODV Terhadap Pertambahan Waktu

Bagian berikut akan menjelaskan analisis kinerja protokol *routing* AODV pada jaringan VANET dari hasil pengujian yang dilakukan. Analisis hasil pada bagian ini didasarkan disajikan dengan perbandingan terhadap pertambahan interval waktu setiap 30 detik dari total waktu simulasi 180 detik atau 3 menit yaitu 30s, 60s, 90, 120s, 150s, dan 180s.

5.2.1.1 Analisis Hasil *Average Throughput* Terhadap Pertambahan Waktu

Average throughput adalah kecepatan rata-rata transmisi data yang sukses dalam satuan waktu tertentu. Satuan nilai throughput adalah *kilo bytes per second* (KB/s atau KBps). Semakin tinggi nilai *average throughput* yang dihasilkan maka akan semakin baik performa jaringan VANET, begitu pun sebaliknya. Nilai *average throughput* didapatkan dari pembagian paket yang berhasil diterima dan waktu simulasi sehingga didapatkan hasil pada pengujian sebagaimana Tabel 5.5 berikut.

Tabel 5.5 Perbandingan nilai *average throughput* antar model jalan terhadap pertambahan waktu

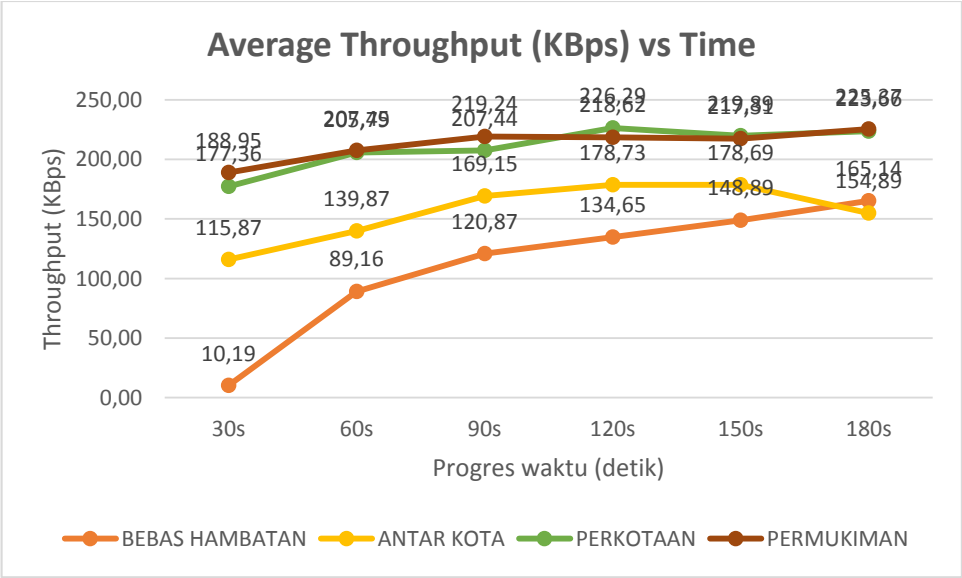
AVERAGE THROUGHPUT (KBps)				
Dtk ke-	**BEBAS HAMBATAN**	**ANTAR KOTA**	**PERKOTAAN**	**PERMUKIMAN**
30s	10,19	115,87	177,36	188,95
60s	89,16	139,87	205,79	207,45
90s	120,87	169,15	207,44	219,24
120s	134,65	178,73	226,29	218,62
150s	148,89	178,69	219,89	217,31
180s	165,14	154,89	223,66	225,37
avg	**111,48**	**156,20**	**210,07**	**212,82**

repository.ub.ac.id
UNIVERSITAS BRAWIJAYA

Pada Gambar 5.1 digambarkan grafik nilai *average throughput* terhadap pertambahan waktu. Secara lebih detail, grafik perbandingan nilai *average throughput* pada masing-masing model jalan berdasarkan interval waktu yang ditentukan adalah sebagai berikut.

- Pada detik ke-30, nilai *average throughput* dari yang tertinggi (terbaik) hingga terendah (terburuk) secara berurutan dihasilkan oleh model jalan permukiman dengan nilai 188,95 KBps, model jalan perkotaan 177,36 KBps, model jalan antar kota 115,87 KBps, dan yang terakhir model jalan bebas hambatan dengan hanya 10,19 KBps.
- Detik ke-60, nilai *average throughput* terbaik dihasilkan oleh model jalan permukiman dengan nilai 207,45 KBps, disusul model jalan perkotaan 205,79 KBps, lalu model jalan antar kota 139,87 KBps, dan nilai terkecil diperoleh oleh model jalan bebas hambatan 89,16 KBps.
- Adapun *average throughput* yang dihasilkan pada detik ke-90 dengan nilai dari yang tertinggi (terbaik) hingga terendah (terburuk) secara berurutan didapatkan oleh model jalan permukiman dengan nilai 219,24 KBps, model jalan perkotaan 207,44 KBps, model jalan antar kota 169,15 KBps, dan yang terakhir model jalan bebas hambatan sebesar 120,87 KBps.
- Percobaan pada detik ke-120, nilai *average throughput* tertinggi dihasilkan oleh model jalan perkotaan dengan nilai 226,29 KBps, disusul oleh model jalan permukiman 218,62 KBps, kemudian model jalan antar kota 178,73 KBps, dan terakhir model jalan bebas hambatan 134,65 KBps.
- Nilai *average throughput* terbaik pada detik ke-150 dari yang tertinggi (terbaik) hingga terendah (terburuk) secara berurutan dihasilkan oleh model jalan perkotaan senilai 219,89 KBps, model jalan permukiman 217,31 KBps, model jalan antar kota 178,69 KBps, dan yang terakhir model jalan bebas hambatan 148,89 KBps.
- Sedangkan pada percobaan detik ke-180, nilai *average throughput* dari yang tertinggi (terbaik) hingga terendah (terburuk) secara berurutan dihasilkan oleh model jalan permukiman dengan nilai 225,37 KBps, model jalan perkotaan 223,66 KBps, model jalan antar kota 154,89 KBps, kemudian model jalan bebas hambatan senilai 165,14 KBps.

repository.ub.ac.id
UNIVERSITAS BRAWIJAYA



Gambar 5.1 Grafik nilai *average throughput* antar model jalan terhadap pertambahan waktu

Dari Gambar 5.1 tersebut dapat diketahui bahwa secara keseluruhan nilai *average throughput* dari yang tertinggi (terbaik) hingga terendah (terburuk) secara berurutan dihasilkan oleh model jalan permukiman dengan nilai rata-rata sebesar 212,82 KBps, model jalan perkotaan 210,07 KBps, model jalan antar kota 156,20 KBps, dan terakhir adalah model jalan bebas hambatan senilai 111,48 KBps.

Terdapat beberapa faktor yang mempengaruhi besaran nilai *average throughput* yang dihasilkan, salah satunya adalah ketahanan atau konsistensi *link* yang terbentuk dari node asal ke node tujuan baik dalam proses pencarian rute jaringan maupun setelah rute jaringan tersebut terbentuk. Ketahanan link tersebut sangat dipengaruhi oleh kecepatan laju kendaraan (node) dikarenakan semakin cepat laju kendaraan maka perpindahan kendaraan semakin tinggi sehingga ketahanan *link* akan semakin rendah. Faktor lain yang mempengaruhi ketahanan atau konsistensi *link* adalah rata-rata jarak antar node asal ke node tujuan. Jarak node asal ke node tujuan dan *node hop* yang ada di dalamnya dapat dipengaruhi oleh jumlah ruas jalan yang terbentuk. Artinya, semakin jauh jarak antar node atau semakin cepat gerak node maka semakin kecil (buruk) nilai *average throughput* yang dihasilkan, dan sebaliknya.

Faktor-faktor tersebut tentunya sangat berpengaruh pada kinerja protokol *routing* AODV dikarenakan AODV yang bersifat *ad hoc* menggunakan metode *shortest path* (jarak terdekat) dalam pembentukan rute jaringannya. Adapun model jalan permukiman menghasilkan nilai *average throughput* terbaik dikarenakan kecepatan kendaraan yang berlaku paling rendah yaitu 30 km/jam dan jumlah ruas jalan yang terbentuk lebih banyak dibandingkan dengan model jalan lain. Sedangkan secara berurutan model jalan perkotaan, antar kota dan bebas hambatan memiliki ruas jalan yang lebih sedikit dan aturan kecepatan yang lebih cepat yaitu 50 km/jam, 80 km/jam, dan 60 km/jam – 100 km/jam.

repository.ub.ac.id
UNIVERSITAS BRAWIJAYA

Pada model jalan permukiman seperti terlihat pada grafik, secara progresif mengalami peningkatan nilai *average throughput* seiring bertambahnya waktu simulasi. Namun terjadi penurunan sedikit sebesar 0,62 KBps pada detik ke 90 ke 120 dikarenakan pada simulasi ke-3 200 node, dalam interval waktu tersebut node asal mengalami sedikit kemacetan dengan jarak sekitar 320 meter dari node tujuan dan *node hop* yang ditentukan oleh protokol *routing* tidak membentuk garis lurus hingga terjadi penurunan sebesar 35,31 KBps. Dan pada detik 120 ke 150 terjadi sedikit penurunan hanya sebesar 1,31 KBps, sedikit penurunan kinerja *average throughput* tersebut disebabkan karena pada simulasi ke-2 300 node terjadi penurunan senilai 69,14 KBps dimana node asal dan node tujuan dengan jarak 350 meter mengalami kemacetan hingga hampir tak bergerak sama sekali.

Grafik pada model jalan perkotaan mengalami kenaikan *average throughput* secara progresif terhadap pertambahan waktu simulasi. Terjadi sedikit penurunan pada detik 120 ke 150 sebesar 6,4 KBps, namun naik lagi pada waktu berikutnya. Penyebab turunnya nilai sebesar 6,4 KBps tersebut diakibatkan karena pada simulasi ke-1 300 node terjadi penurunan signifikan sebesar 100,20 KBps dimana jarak yang terbentuk antara node asal ke node tujuan cukup jauh yakni 490 meter sehingga memungkinkan *node hop* yang terhubung lebih banyak.

Adapun model jalan antar kota mengalami penurunan yang sangat sedikit pada detik 120 ke 150 dengan hanya 0,4 KBps yang diakibatkan pada simulasi ke-3 200 node, node asal dan node tujuan terkena macet beberapa hanya saat dengan jarak cukup jauh sekitar 540 meter, adapun penurunannya senilai 58,49 KBps. Namun pada waktu selanjutnya yaitu detik 150 ke 180 terjadi penurunan *average throughput* yang cukup besar yaitu 29,8 KBps. Penurunan 29,8 KBps disebabkan karena terjadi kemacetan antar kedua node utama selama 25 detik dalam jarak sekitar 375 meter pada simulasi ke-1 dengan 200 node dengan penurunan 65,81 KBps sehingga mempengaruhi nilai rata-rata yang dihasilkan.

Sedangkan nilai *average throughput* pada model jalan bebas hambatan sedikit berbeda dengan model jalan lainnya, karena pada model jalan ini grafik selalu progresif meningkat seiring bertambahnya waktu. Namun pada detik 30 awal, nilai yang dihasilkan sangatlah sedikit dibandingkan model jalan lain dengan hanya 10,19 KBps, hal itu dikarenakan pada simulasi ke-1 dengan 100 dan 300 node serta pada simulasi ke-2 dengan 200 dan 300 node, jarak antara node asal ke node tujuan sangatlah terpaut jauh dengan rata-rata lebih dari 700 meter. Sedangkan pada detik-detik awal simulasi, node yang berjalan masih sedikit karena node yang disimulasikan masuk secara bertahap sehingga mengakibatkan sedikitnya pilihan *node hop* yang akan ditentukan.

5.2.1.2 Analisis Hasil *Packet Delivery Ratio* Terhadap Pertambahan Waktu

Packet delivery ratio adalah rata-rata besar rasio kesuksesan diterimanya sebuah paket dalam proses transmisi data. Satuan nilai *packet delivery ratio* dalam bentuk persentase (%). Semakin tinggi nilai *packet delivery ratio* yang dihasilkan maka akan semakin baik performa jaringan VANET, begitu pun sebaliknya. Nilai *packet delivery ratio* didapatkan dari hasil persentase perbandingan antara paket

repository.ub.ac.id
UNIVERSITAS BRAWIJAYA

yang diterima dan paket yang dikirim sehingga pada pengujian didapatkan nilai *packet delivery ratio* sebagaimana Tabel 5.6 berikut.

Tabel 5.6 Perbandingan nilai *packet delivery ratio* antar model jalan terhadap pertambahan waktu

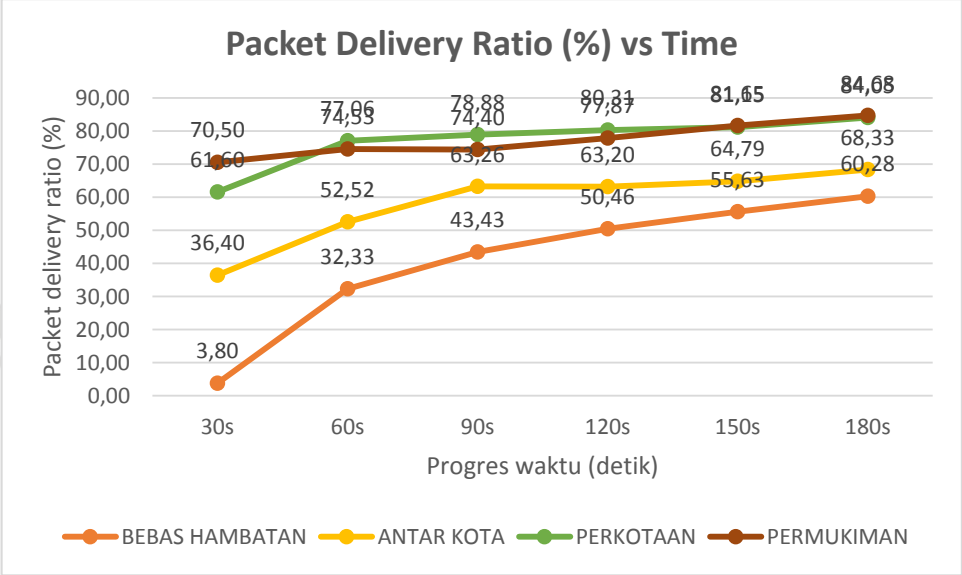
PACKET DELIVERY RATIO (%)				
Dtk ke-	**BEBAS HAMBATAN**	**ANTAR KOTA**	**PERKOTAAN**	**PERMUKIMAN**
30s	3,80	36,40	61,60	70,50
60s	32,33	52,52	77,06	74,53
90s	43,43	63,26	78,88	74,40
120s	50,46	63,20	80,31	77,87
150s	55,63	64,79	81,15	81,65
180s	60,28	68,33	84,05	84,68
avg	**40,99**	**58,08**	**77,18**	**77,27**

Pada Gambar 5.2 digambarkan grafik nilai *packet delivery ratio* terhadap pertambahan waktu. Berdasarkan Tabel 5.6 tersebut dapat dijelaskan lebih detail perbandingan nilai *packet delivery ratio* antar model jalan berdasarkan interval waktu yang ditentukan pada tabel tersebut adalah sebagai berikut.

- Percobaan pada detik ke-30, nilai *packet delivery ratio* tertinggi dihasilkan oleh model jalan permukiman dengan nilai 70,50 %, disusul oleh model jalan perkotaan 61,60 %, kemudian model jalan antar kota 36,40 %, dan terakhir dihasilkan oleh model jalan bebas hambatan dengan 3,80 %.
- Adapun *packet delivery ratio* yang dihasilkan pada detik ke-60 dari yang tertinggi (terbaik) hingga terendah (terburuk) secara berurutan didapatkan oleh model jalan perkotaan dengan nilai 77,06 %, model jalan permukiman 74,53 %, model jalan antar kota 52,52 %, dan yang terakhir model jalan bebas hambatan sebesar 32,33 %.
- Pada detik ke-90, nilai *packet delivery ratio* dari yang tertinggi (terbaik) hingga terendah (terburuk) secara berurutan dihasilkan oleh model jalan perkotaan dengan nilai 78,88 %, model jalan permukiman 74,40 %, model jalan antar kota 63,26 %, dan yang terakhir model jalan bebas hambatan dengan hanya 43,43 %.
- Nilai *packet delivery ratio* terbaik pada detik ke-120 dari yang tertinggi (terbaik) hingga terendah (terburuk) secara berurutan dihasilkan oleh model jalan perkotaan senilai 80,31 %, model jalan permukiman 77,87 %, model jalan antar kota 63,20 %, dan yang terakhir model jalan bebas hambatan 50,46 KBps.

repository.ub.ac.id
UNIVERSITAS BRAWIJAYA

- Detik ke-150, nilai *packet delivery ratio* terbaik dihasilkan oleh model jalan permukiman dengan nilai 81,65 %, disusul model jalan perkotaan 81,15 %, lalu model jalan antar kota 64,79 %, dan nilai terkecil diperoleh oleh model jalan bebas hambatan 55,63 %.
- Sedangkan pada percobaan detik ke-180, nilai *packet delivery ratio* dari yang tertinggi (terbaik) hingga terendah (terburuk) secara berurutan dihasilkan oleh model jalan permukiman dengan nilai 84,68 %, model jalan perkotaan 84,05 %, model jalan antar kota 68,33 %, kemudian model jalan bebas hambatan senilai 60,28 %.



Gambar 5.2 Grafik nilai *packet delivery ratio* antar model jalan terhadap pertambahan waktu

Dapat diketahui dari Gambar 5.2 tersebut bahwa secara menyeluruh nilai *packet delivery ratio* dari yang tertinggi (terbaik) hingga terendah (terburuk) secara berurutan terjadi pada model jalan permukiman dengan nilai rata-rata sebesar 77,27 %, model jalan perkotaan 77,18 %, model jalan antar kota 58,08 % dan terakhir ada pada model jalan bebas hambatan dengan 40,99 %.

Nilai *packet delivery ratio* yang dihasilkan dipengaruhi oleh beberapa faktor yang hampir sama dengan faktor yang mempengaruhi *average throughput*. Dengan kata lain, nilai *average throughput* akan mempengaruhi nilai *packet delivery ratio.* Semakin jauh jarak yang terbentuk antara node asal ke node tujuan dan semakin cepat laju kendaraan (node) yang berjalan, maka nilai *packet delivery ratio* akan semakin rendah (buruk). Karena faktor jarak yang disebabkan oleh jumlah ruas jalan dan kecepatan kendaraan yang tinggi akan menyebabkan kemungkinan terjadi putusnya rute jaringan yang telah terbentuk sehingga protokol *routing* AODV akan melakukan proses *route discovery* lebih sering ditambah lagi sifat AODV yang menggunakan metode pencarian *single-path* (satu rute) sehingga tidak ada rute alternatif sebagai cadangannya dan mengakibatkan kemungkinan rasio paket yang terkirim lebih kecil.

repository.ub.ac.id
UNIVERSITAS BRAWIJAYA

Penyebab utama model jalan permukiman memiliki *output* rasio paket terkirim yang tertinggi adalah dikarenakan kecepatan kendaraannya paling rendah yaitu hanya 30 km/jam disertai jumlah ruas jalan yang lebih banyak terbentuk daripada dengan model jalan lain. Adapun secara berurutan model jalan perkotaan, antar kota dan bebas hambatan memiliki ruas jalan yang lebih sedikit dan kecepatan kendaraan yang lebih tinggi yaitu 50 km/jam, 80 km/jam dan 60 km/jam – 100 km/jam sehingga nilai *packet delivery ratio* yang dihasilkan lebih kecil.

Adapun model jalan permukiman secara bertahap mengalami peningkatan nilai *packet delivery ratio* seiring bertambahnya waktu simulasi. Tetapi terjadi penurunan yang sangat sedikit 0,13 % pada detik ke 60 ke 90 dan selalu naik pada waktu simulasi berikutnya. Fenomena tersebut terjadi karena pada simulasi ke-2 dengan 300 node mengalami penurunan sebesar 13,54 % dimana jarak yang terbentuk antara kedua node utama cukup jauh yaitu 600 meter. Adapun penyebab lain sedikit penurunan sebesar 0,13 % tersebut karena pada simulasi ke-3 dengan 300 node *node hop* yang dilewati tidak segaris lurus (menjauh).

Pada model jalan perkotaan terus menerus mengalami kenaikan nilai yang rasio paket yang terkirim secara progresif terhadap pertambahan waktu simulasi. Progress kenaikan yang terjadi pun relatif bertahap dan tidak ada perubahan nilai yang signifikan. Sama seperti model jalan perkotaan, model jalan antar kota pun pada grafik selalu mengalami peningkatan nilai *packet delivery ratio* seiring bertambahnya waktu simulasi.

Nilai *packet delivery ratio* pada model jalan bebas hambatan sedikit berbeda dengan model jalan lainnya karena meskipun grafik yang terbaca selalu naik, namun pada detik awal ke 30 nilai rasio paket yang terkirim sangatlah kecil dengan hanya sebesar 3,80 %. Penyebab fenomena tersebut sama dengan yang terjadi pada hasil *average throughput* di bagian sebelumnya yaitu terbentuknya jarak antara node asal dan node tujuan yang cukup jauh dengan rata-rata lebih dari 700 meter pada 30 detik awal, sedangkan opsi *node hop* yang tersedia tidak terlalu banyak.

5.2.1.3 Analisis Hasil *End-to-End Delay* Terhadap Pertambahan Waktu

End-to-end delay adalah rata-rata waktu tunda atau selisih waktu yang dibutuhkan sebuah paket untuk diterima oleh node tujuan. Satuan nilai *end-to-end delay* adalah detik (s). Semakin rendah nilai *end-to-end delay* yang dihasilkan maka akan semakin baik performa jaringan VANET, begitu pun sebaliknya. Nilai *end-to-end delay* didapatkan dari nilai total *delay* dan total paket yang diterima sehingga didapatkan hasil pengujian sebagaimana Tabel 5.7 berikut.

repository.ub.ac.id
UNIVERSITAS BRAWIJAYA

Tabel 5.7 Perbandingan nilai *end-to-end delay* antar model jalan terhadap pertambahan waktu

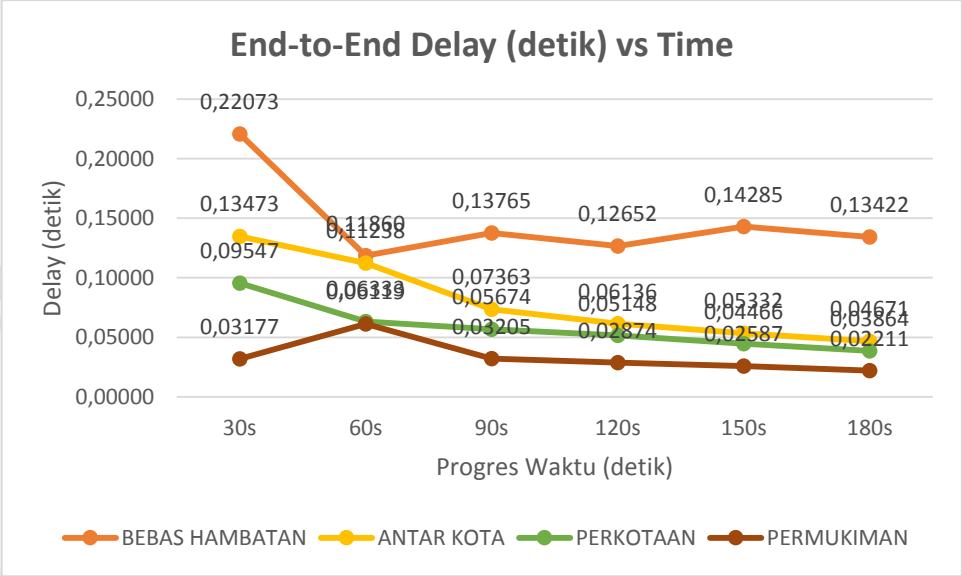
END TO END DELAY (detik)				
Dtk ke-	**BEBAS HAMBATAN**	**ANTAR KOTA**	**PERKOTAAN**	**PERMUKIMAN**
30s	0,22073	0,13473	0,09547	0,03177
60s	0,11860	0,11238	0,06333	0,06119
90s	0,13765	0,07363	0,05674	0,03205
120s	0,12652	0,06136	0,05148	0,02874
150s	0,14285	0,05332	0,04466	0,02587
180s	0,13422	0,04671	0,03864	0,02211
avg	**0,14676**	**0,08036**	**0,05839**	**0,03362**

Pada Gambar 5.3 digambarkan grafik nilai *end-to-end delay* terhadap pertambahan waktu. Adapun pada Tabel 5.7 tersebut dihasilkan beberapa perbandingan nilai *end-to-end delay* antar model jalan berdasarkan interval waktu yang ditentukan kemudian tabel tersebut dapat dijelaskan lebih detail sebagai berikut.

- Pada detik ke-30, nilai *end-to-end delay* dari nilai terendah (terbaik) hingga nilai tertinggi (teburuk) secara berurutan dihasilkan oleh model jalan permukiman dengan nilai 0,03177 detik, model jalan perkotaan 0,09547 detik, model jalan antar kota 0,13473 detik, dan yang terakhir model jalan bebas hambatan dengan hanya 0,22073 detik.
- Detik ke-60, nilai *end-to-end delay* terbaik dihasilkan oleh model jalan permukiman dengan nilai 0,06119 detik, disusul model jalan perkotaan 0,06333 detik, lalu model jalan antar kota 0,11238 detik, dan nilai terkecil diperoleh oleh model jalan bebas hambatan 0,11860 detik.
- Nilai *end-to-end delay* terbaik pada detik ke-90 dari nilai terendah (terbaik) hingga nilai tertinggi (teburuk) secara berurutan dihasilkan oleh model jalan permukiman senilai 0,03205 detik, model jalan perkotaan 0,05674 detik, model jalan antar kota 0,07363 detik, dan yang terakhir model jalan bebas hambatan 0,13765 detik.
- Adapun *end-to-end delay* yang dihasilkan pada detik ke-120 dari nilai terendah (terbaik) hingga nilai tertinggi (teburuk) berurutan didapatkan oleh model jalan permukiman dengan nilai 0,02874 detik, model jalan perkotaan 0,05148 detik, model jalan antar kota 0,06136 detik, dan yang terakhir model jalan bebas hambatan sebesar 0,12652 detik.

repository.ub.ac.id
UNIVERSITAS BRAWIJAYA

- Percobaan pada detik ke-150, nilai *end-to-end delay* paling rendah dihasilkan oleh model jalan permukiman dengan nilai 0,02587 detik, disusul oleh model jalan perkotaan 0,04466 detik, kemudian model jalan antar kota 0,05332 detik, dan terakhir dihasilkan oleh model jalan bebas hambatan dengan 0,14285 detik.
- Sedangkan pada percobaan detik ke-180, nilai *end-to-end delay* dari nilai terendah (terbaik) hingga nilai tertinggi (teburuk) secara berurutan dihasilkan oleh model jalan permukiman dengan nilai 0,02211 detik, model jalan perkotaan 0,03864 detik, model jalan antar kota 0,04671 detik, kemudian model jalan bebas hambatan senilai 0,14676 detik.



Gambar 5.3 Grafik nilai *end-to-end delay* antar model jalan terhadap pertambahan waktu

Berdasarkan tampilan Gambar 5.3 di atas dapat dilihat bahwa keseluruhan nilai *end-to-end delay* dari nilai terendah (terbaik) hingga nilai tertinggi (teburuk) secara berurutan dihasilkan oleh model jalan permukiman dengan nilai rata-rata sebesar 0,03362 detik, model jalan perkotaan 0,05839 detik, model jalan antar kota 0,08036 detik, dan hasil terburuk ada pada model jalan bebas hambatan dengan nilai 0,14676 detik.

End-to-end delay sangat dipengaruhi oleh jumlah waktu yang dibutuhkan oleh protokol *routing* AODV untuk menemukan rute jaringan karena sebelum mengirimkan atau meneruskan pesan terlebih dahulu node yang dilalui harus mengetahui rute node berikutnya atau node tujuannya. Faktor lain yang mempengaruhi adalah *delay* proses karena ketika suatu node menerima pesan maka node tersebut akan menganalisa *header* pesan untuk mengetahui node mana yang harus diteruskan atau ditujukan. Ditambah lagi protokol *routing* AODV dengan metode pencarian rute *hop by hop* dimana untuk menghubungkan node asal ke node tujuan diperlukan node *hop* atau node perantara terdekat yang letaknya ada diantara *source* dan *destination*. Disamping itu, jarak antara node

repository.ub.ac.id
UNIVERSITAS BRAWIJAYA

asal ke node tujuan dan kecepatan node juga berpengaruh terhadap nilai *end-to-end delay* karena semakin tinggi faktor tersebut maka semakin tinggi kemungkinan jumlah *hop* yang dilalui atau *delay* proses yang dibutuhkan. Semakin banyak node *hop* yang dilalui atau semakin lama *delay* proses yang dibutuhkan node untuk menganalisa pesan, maka semakin tinggi (buruk) nilai *end-to-end delay* yang terjadi.

Nilai *end-to-end delay* yang tergambar pada grafik membentuk pola yang berbeda dibandingkan nilai *average throughput* dan *packet delivery ratio* karena banyaknya grafik dengan tren yang naik turun seiring bertambahnya waktu. Namun secara keseluruhan nilai rata-rata, model jalan permukiman menghasilkan nilai *end-to-end delay* terendah (terbaik) dikarenakan kecepatan kendaraan yang berlaku paling rendah diantara model jalan lain yaitu hanya 30 km/jam dan jumlah ruas jalan yang terbanyak memungkinkan *node hop* yang terhubung lebih sedikit sehingga total *delay* proses relatif lebih rendah. Sedangkan secara berurutan model jalan perkotaan, antar kota dan bebas hambatan memiliki ruas jalan yang lebih sedikit dan aturan kecepatan yang lebih cepat yaitu 50 km/jam, 80 km/jam dan 60 km/jam – 100 km/jam.

Pada model jalan permukiman seperti terlihat pada grafik, nilai *end-to-end delay* secara progresif mengalami peurunan (membaik) seiring bertambahnya waktu simulasi. Tetapi terjadi kenaikan nilai yang cukup signifikan sebesar 0,02942 pada detik ke 30 ke 60 yang disebabkan karena pada simulasi ke-2 dengan 200 node mengalami kenaikan delay sebesar 0,29376 detik dikarenakan jarak antara node asal menuju node tujuan terpaut cukup jauh sekitar 410 meter.

Grafik pada model jalan perkotaan *output end-to-end delay output end-to-end delay* selalu membaik (turun) secara progresif terhadap pertambahan waktu simulasi. Pada model jalan antar kota pun sama dengan model jalan perkotaan, yakni terus menerus mengalami penurunan nilai *delay* secara progresif terhadap pertambahan waktu simulasi. Progress kenaikan yang terjadi pun relatif bertahap dan tidak ada perubahan nilai yang signifikan.

Sedangkan nilai *end-to-end delay* pada model jalan bebas hambatan sedikit berbeda dengan model jalan lainnya, karena pada model jalan ini grafik yang terbentuk sangatlah acak sehingga nilai yang dihasilkan naik turun seiring bertambahnya waktu. Pada detik 30 – 60 terjadi penurunan sebesar 0,10213 detik, detik 60 ke 90 ada kenaikan 0,01905, pada detik 90 -120 grafik turun 0,01113 detik dikarenakan, pada detik 120 ke 150 grafik naik 0,01633 detik dan terakhir pada detik 150 menuju 180 terjadi penurunan sebesar 0,00863. Grafik yang acak tersebut terjadi karena pada model jalan bebas hambatan, kendaraan (node) berjalan dengan kecepatan cukup tinggi hingga 100 km/jam ditambah lagi ruas jalan yang terbentuk sangat sedikit dibanding model jalan lain sehingga protokol *routing* AODV akan mengalami penurunan kinerja karena sulitnya membentuk rute jaringan yang baik dan efisien.

repository.ub.ac.id
UNIVERSITAS BRAWIJAYA

5.2.2 Analisis Kinerja AODV Terhadap Perbedaan Jumlah Node

Analisis yang dijelaskan pada bagian ini adalah merupahan analisis kinerja protokol *routing* AODV pada jaringan VANET dari hasil pengujian yang dilakukan. Pada bagian ini, analisis hasil disajikan dengan perbandingan terhadap perbedaan jumlah kendaraan (node) yang berjalan antara lain 100 node (kondisi lengang), 200 node (kondisi ideal), dan 300 node (kondisi padat).

5.2.2.1 Analisis Hasil *Average Throughput* Terhadap Perbedaan Jumlah Node

Nilai *average throughput* didapatkan dari pembagian paket yang berhasil diterima dan waktu simulasi. *Average throughput* adalah kecepatan rata-rata transmisi data yang sukses dalam satuan waktu tertentu. Satuan nilai *throughput* adalah *kilo bytes per second* (KB/s atau KBps). Semakin tinggi nilai *throughput* yang dihasilkan maka akan semakin baik performa jaringan VANET, begitu pun sebaliknya. Pada Tabel 5.8 disajikan perbandingan nilai *average throughput* pada masing-masing model jalan terhadap perbedaan jumlah node.

Tabel 5.8 Perbandingan nilai *average throughput* antar model jalan terhadap perbedaan jumlah node

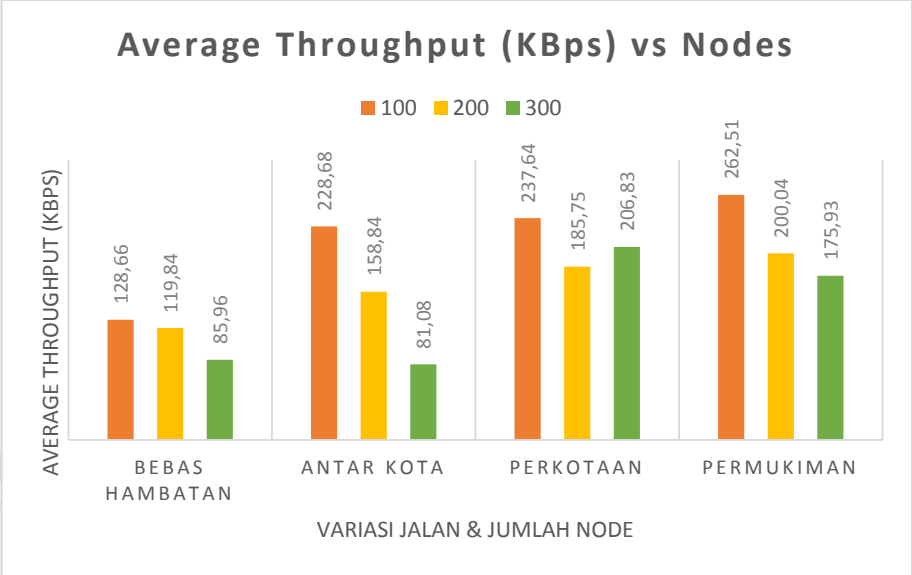
AVERAGE THROUGHPUT (KBps)				
node	**BEBAS HAMBATAN**	**ANTAR KOTA**	**PERKOTAAN**	**PERMUKIMAN**
100	128,66	228,68	237,64	262,51
200	119,84	158,84	185,75	200,04
300	85,96	81,08	206,83	175,93
avg	**111,48**	**156,20**	**210,07**	**212,82**

Pada Gambar 5.4 digambarkan grafik nilai *average throughput* terhadap perbedaan jumlah node. Pada tabel 5.8 tersebut dihasilkan beberapa perbandingan nilai *average throughput* antar model jalan terhadap perbedaan jumlah node yang telah dirancang, kemudian tabel tersebut dapat dijelaskan lebih detail sebagai berikut.

- Ketika disimulasikan jumlah node 100, nilai *average throughput* tertinggi (terbaik) dihasilkan oleh model jalan permukiman dengan nilai 262,51 KBps, disusul model jalan perkotaan 237,64 KBps, lalu model jalan antar kota 228,68 KBps, dan nilai terkecil diperoleh oleh model jalan bebas hambatan 128,66 KBps.
- Percobaan pada jumlah node 200, nilai *average throughput* paling tinggi dihasilkan oleh model jalan permukiman dengan nilai 200,04 KBps, disusul oleh model jalan perkotaan 185,75 KBps, kemudian model jalan antar kota 158,84 KBps, dan terakhir dihasilkan oleh model jalan bebas hambatan dengan 119,84 KBps.

repository.ub.ac.id
UNIVERSITAS BRAWIJAYA

- Sedangkan pada percobaan node 300, nilai *average throughput* dari nilai tertinggi (terbaik) hingga nilai terendah (teburuk) secara berurutan dihasilkan oleh model jalan perkotaan dengan nilai 206,83 KBps, model jalan permukiman 175,93 KBps, model jalan bebas hambatan 85,96 KBps, kemudian model jalan antar kota senilai 81,08 KBps.



Gambar 5.4 Grafik nilai *average throughput* antar model jalan terhadap perbedaan jumlah node

Dilihat dari Gambar 5.4 di atas, secara keseluruhan model jalan permukiman menghasilkan nilai *average throughput* terbaik dengan nilai 212,82 KBps kemudian disusul oleh model jalan perkotaan sebesar 210,07 KBps, model jalan antar kota dengan nilai sebesar156,20 KBps, dan terakhir adalah model jalan bebas hambatan senilai 111,48 KBps.

Seperti pada bagian sebelumnya, *output average throughput* dipengaruhi oleh faktor ketahanan *link* yang mana faktor tersebut dipengaruhi oleh kecepatan laju kendaraan dan jarak antara node asal ke node tujuan. Tetapi jika dilihat dari sisi pertambahan node, nampaknya nilai *average throughput* akan selalu memburuk seiring bertambahnya kendaraan (node). Hal tersebut terjadi karena pertambahan node pada kondisi jalan yang sama akan mengakibatkan kemacetan pada titik-titik tertentu sehingga mobilitas kendaraan tidak lagi stabil. Apalagi jika salah satu node dari node asal atau node tujuan berhenti terlalu lama pada satu titik yang relatif jauh sedangkan node lainnya masih berjalan dengan lancar maka ketahanan *link* yang telah terbentuk akan sering berubah sehingga *average throughput* akan memburuk.

Pada grafik di atas, model jalan permukiman, model jalan antar kota dan model jalan bebas hambatan konstan selalu mengalami penurunan nilai *average throughput* seiring bertambahnya jumlah kendaraan yang disimulasikan yaitu dari 100 node ke 200 node hingga 300 node. Namun pada model jalan perkotaan justru nilai *average throughput* yang dihasilkan pada simulasi 300 node lebih tinggi (baik) sebesar 21,08 KBps dibandingkan simulasi 200 node. Fenomena tersebut

repository.ub.ac.id
UNIVERSITAS BRAWIJAYA

diakibatkan karena terdapat simulasi dengan hasil buruk yang mempengaruhi nilai rata-ratanya. Yaitu simulasi ke-1 dengan 200 node pada 25 detik awal hanya menghasilkan nilai *average throughput* 25,85 % tidak terlihat transaksi data pada aplikasi NAM karena jarak antara node asal ke node tujuan cukup jauh 560 meter sedangkan di antara keduanya hampir tidak ada kendaraan lain sebagai *node hop* yang bisa dijangkau.

5.2.2.2 Analisis Hasil *Packet Delivery ratio* Terhadap Perbedaan Jumlah Node

Nilai *packet delivery ratio* didapatkan dari hasil persentase perbandingan antara paket yang diterima dan paket yang dikirim. *Packet delivery ratio* adalah rata-rata besar rasio kesuksesan diterimanya sebuah paket dalam proses transmisi data. Satuan nilai *packet delivery ratio* dalam bentuk persentase (%). Semakin tinggi nilai *packet delivery ratio* yang dihasilkan maka akan semakin baik performa jaringan VANET, begitu pun sebaliknya. Pada Tabel 5.9 disajikan perbandingan nilai *packet delivery ratio* pada masing-masing model jalan terhadap perbedaan jumlah node.

Tabel 5.9 Perbandingan nilai *packet delivery ratio* antar model jalan terhadap perbedaan jumlah node

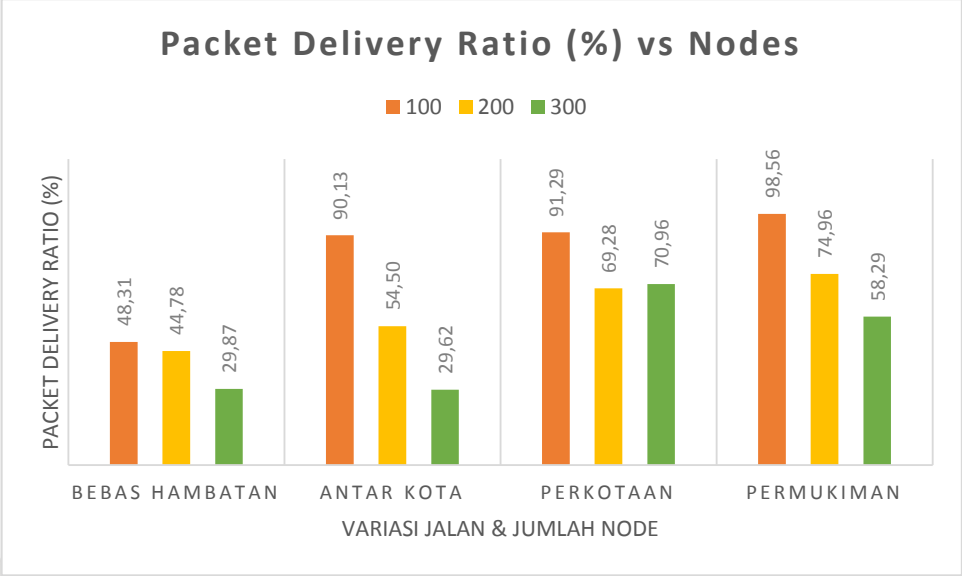
PACKET DELIVERY RATIO (%)				
node	**BEBAS HAMBATAN**	**ANTAR KOTA**	**PERKOTAAN**	**PERMUKIMAN**
100	48,31	90,13	91,29	98,56
200	44,78	54,50	69,28	74,96
300	29,87	29,62	70,96	58,29
avg	**40,99**	**58,08**	**77,18**	**77,27**

Pada Gambar 5.5 digambarkan grafik nilai *packet delivery ratio* terhadap perbedaan jumlah node. Berdasarkan Tabel 5.9 tersebut dapat dijelaskan lebih detail perbandingan nilai *packet delivery ratio* antar model jalan berdasarkan perbedaan jumlah node pada tabel tersebut adalah sebagai berikut.

- Percobaan pada 100 node, nilai *packet delivery ratio* tertinggi dihasilkan oleh model jalan permukiman dengan nilai 98,56 %, disusul oleh model jalan perkotaan 91,29 %, kemudian model jalan antar kota 90,13 %, dan terakhir dihasilkan oleh model jalan bebas hambatan dengan 48,31 %.
- Adapun *packet delivery ratio* yang dihasilkan pada simulasi 200 node dengan dari nilai tertinggi (terbaik) hingga nilai terendah (teburuk) secara berurutan didapatkan oleh model jalan permukiman dengan nilai 74,96 %, model jalan perkotaan 69,28 %, model jalan antar kota 54,50 %, dan yang terakhir model jalan bebas hambatan sebesar 44,78 %.
- Sedangkan pada percobaan detik ke-180, nilai *packet delivery ratio* dari nilai tertinggi (terbaik) hingga nilai terendah (teburuk) secara berurutan

repository.ub.ac.id
UNIVERSITAS BRAWIJAYA

dihasilkan oleh model jalan perkotaan dengan nilai 70,96 %, model jalan 58,29 %, model jalan bebas hambatan 29,87 %, kemudian model jalan antar kota senilai 29,62 %.



Gambar 5.5 Grafik nilai *packet delivery ratio* antar model jalan terhadap perbedaan jumlah node

Berdasarkan Gambar 5.5 di atas dapat dilihat bahwa keseluruhan nilai *packet delivery ratio* dari nilai tertinggi (terbaik) hingga nilai terendah (teburuk) secara berurutan dihasilkan oleh model jalan permukiman dengan nilai rata-rata sebesar 77,27 %, kemudian sedikit di bawahnya adalah model jalan perkotaan 77,18 %, model jalan antar kota senilai 58,08 %, dan hasil terburuk ada pada model jalan bebas hambatan dengan nilai 40,99 %.

Adapun beberapa faktor yang mempengaruhi hasil *packet delivery ratio* adalah sama seperti yang telah dijelaskan pada bagian sebelumnya, dimana nilai *average throughput* akan berpengaruh terhadap rasio paket yang terkirim. Jarak antar node asal menuju node tujuan dan kecepatan node akan berpengaruh dengan kemungkinan rusaknya *link* yang mengakibatkan pengulangan *route discovery* yang terlalu sering. Pun sama seperti *average throughput,* pertambahan jumlah kendaraan membuat terjadinya kemacetan pada titik-titik fital seperti pada node asal atau node tujuan atau *node hop* yang ada di dalamnya sehingga akan mempengaruhi nilai *packet delivery ratio,* apalagi jika kemacetan tersebut terjadi pada jarak yang cukup jauh.

Grafik di atas menjelaskan bahwa seluruh model jalan selalu mengalami penurunan nilai *packet delivery ratio* seiring bertambahnya jumlah kendaraan (node) dari 100 node, 200 node hingga 300 node. Namun seperti hasil *average throughput* sebelumnya, pada model jalan perkotaan terjadi fenomena yang berbeda dimana pada simulasi 300 node nilai yang didapatkan sangat sedikit lebih tinggi (baik) 1,68 % dibandingkan pada 200 node. Penyebab fenomena tersebut terjadi sama dengan penyebab penurunan nilai *average throughput* di bagian sebelumnya. Yakni pada simulasi ke-1 200 node tidak terjadi transaksi data selama

repository.ub.ac.id
UNIVERSITAS BRAWIJAYA

sekitar 25 detik awal karena jarak kedua node utama cukup jauh 560 meter dan tidak terjangkaunya *node hop* yang membantu menghubungkan kedua node utama tersebut.

5.2.2.3 Analisis Hasil *End-to-End Delay* Terhadap Perbedaan Jumlah Node

Nilai *end-to-end delay* didapatkan dari nilai total *delay* dan total paket yang diterima. *End-to-end delay* adalah rata-rata waktu tunda atau selisih waktu yang dibutuhkan sebuah paket untuk diterima oleh node tujuan. Satuan nilai *end-to-end delay* adalah detik (s). Semakin rendah nilai *end-to-end delay* yang dihasilkan maka akan semakin baik performa jaringan VANET, begitu pun sebaliknya. Pada Tabel 5.10 disajikan perbandingan nilai *end-to-end delay* pada masing-masing model jalan terhadap perbedaan jumlah node.

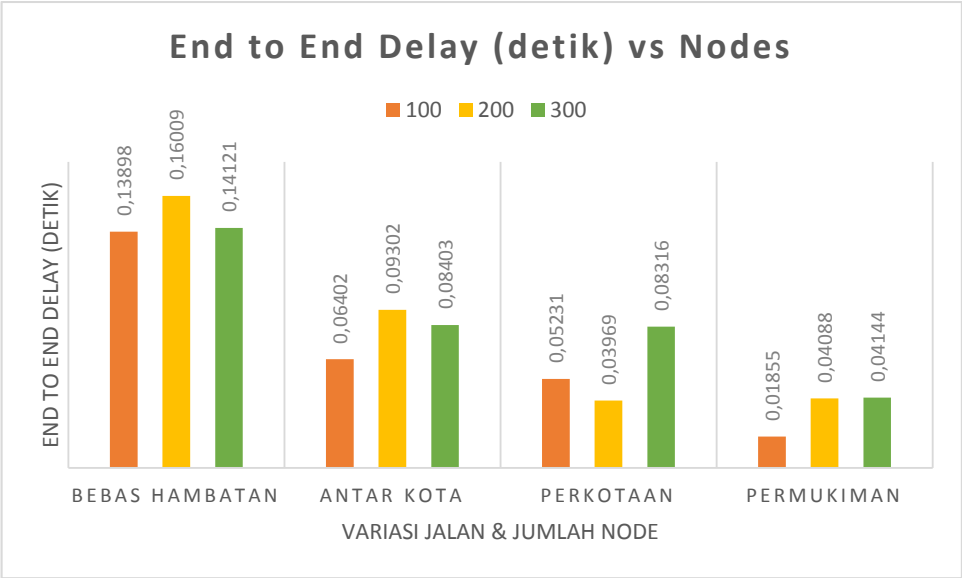
Tabel 5.10 Perbandingan nilai *end-to-end delay* antar model jalan terhadap perbedaan jumlah node

END TO END DELAY (detik)				
node	**BEBAS HAMBATAN**	**ANTAR KOTA**	**PERKOTAAN**	**PERMUKIMAN**
100	0,13898	0,06402	0,05231	0,01855
200	0,16009	0,09302	0,03969	0,04088
300	0,14121	0,08403	0,08316	0,04144
avg	**0,14676**	**0,08036**	**0,05839**	**0,03362**

Pada Gambar 5.6 digambarkan grafik nilai *end-to-end delay* terhadap perbedaan jumlah node. Secara lebih detail, grafik perbandingan nilai *end-to-end delay* pada masing-masing model jalan berdasarkan perbedaan jumlah node adalah sebagai berikut.

- Pada simulasi 100 node, nilai *end-to-end delay* dari nilai terendah (terbaik) hingga nilai tertinggi (teburuk) secara berurutan dihasilkan oleh model jalan permukiman dengan nilai 0,01855 detik, model jalan perkotaan 0,05231 detik, model jalan antar kota 0,06402 detik, dan yang terakhir model jalan bebas hambatan dengan 0,13898 detik.
- Nilai *end-to-end delay* dari nilai terendah (terbaik) hingga nilai tertinggi (teburuk) pada node 200 secara berurutan dihasilkan oleh model jalan perkotaan senilai 0,03969 detik, model jalan permukiman 0,04088, model jalan antar kota 0,09302 detik, dan yang terakhir model jalan bebas hambatan 0,16009 detik.
- Sedangkan pada percobaan node 300, nilai *end-to-end delay* dari nilai terendah (terbaik) hingga nilai tertinggi (teburuk) secara berurutan dihasilkan oleh model jalan permukiman dengan nilai 0,04144 detik, model jalan perkotaan 0,08316 detik, model jalan antar kota 0,08403 detik, kemudian model jalan bebas hambatan senilai 0,14676 detik.

repository.ub.ac.id
UNIVERSITAS BRAWIJAYA



Gambar 5.6 Grafik nilai *end-to-end delay* antar model jalan terhadap perbedaan jumlah node

Dapat diketahui dari tampilan Gambar 5.6 di atas bahwa secara menyeluruh nilai *end-to-end delay* dari nilai terendah (terbaik) hingga nilai tertinggi (teburuk) secara berurutan terjadi pada model jalan permukiman dengan nilai rata-rata sebesar 70,03362 detik, model jalan perkotaan 0,05839 detik, model jalan antar kota 0,08036 detik, dan terakhir ada pada model jalan bebas hambatan dengan 0,14676.

Faktor-faktor yang mempengaruhi nilai *end-to-end delay* adalah sama seperti pada penjelasan bab sebelumnya, yakni jumlah waktu yang dibutuhkan oleh protokol *routing* AODV untuk menentukan rute jaringan dan waktu *delay* proses yang terjadi pada node ketika menganalisa asal dan tujuan paket. Ditambah lagi protokol *routing* AODV dengan metode pencarian rute *hop by hop* dimana untuk menghubungkan node asal ke node tujuan diperlukan node *hop* atau node perantara terdekat yang letaknya ada diantara *source* dan *destination*.

Sama seperti nilai *end-to-end delay* terhadap interval waktu uji, pada bagian ini juga hasil yang tergambar pada grafik membentuk pola yang berbeda dibandingkan nilai *average throughput* dan *packet delivery ratio* karena banyaknya grafik dengan tren yang naik turun seiring bertambahnya jumlah kendaraan (node). Pada model jalan permukiman nilai *delay* yang dihasilkan selalu meningkat (memburuk) seiring pertambahan jumlah kendaraan. Tetapi pada model jalan lain terbentuk grafik yang acak karena nilai yang dihasilkan naik turun terhadap pertambahan kendaraan (node) yang disimulasikan.

Pada model jalan perkotaan justru nilai pada node 200 lebih rendah (baik) terpaut 0,01262 detik dibandingkan pada simulasi 100 node. Hal ini dikarenakan pada detik 30 awal simulasi ke-1 dengan node 200 menghasilkan nilai *delay* yang tinggi sebesar 0,29363 detik. Nilai *delay* yang buruk tersebut terjadi karena tidak

repository.ub.ac.id
UNIVERSITAS BRAWIJAYA

terjangkaunya *node hop* diantara node asal dan node tujuan yang berjarak 560 meter.

Adapun model jalan antar kota, nilai yang dihasilkan pada node 300 sedikit lebih baik dibandingkan pada node 200 dengan jarak nilai 0,00899 detik dikarenakan terjadi kenaikan *delay* yang tinggi hingga sebesar 0,35231 detik pada simulasi ke-1 dengan 200 node. Fenomena tersebut diakibatkan Karena minimnya kendaraan penghubung atau *node hop* di antara kedua node utama yang berjarak cukup jauh yakni 640 meter.

Sedangkan di model jalan bebas hambatan, nilai pada node 300 lebih rendah (baik) dibandingkan simulasi 200 node dengan perbedaan sebesar 0,01888 detik. Fenomena itu terjadi karena pada 30 detik awal dihasilkan nilai *delay* yang buruk 0,57387 detik pada simulasi ke-1 dengan 200 node dengan penyebab yang sama dengan model jalan perkotaan dan antar kota yakni jarak yang terpaut cukup jauh dan minimnya *node hop* yang bisa dijangkau oleh protokol *routing* AODV karena jumlah node memasuki area simulasi secara bertahap, semakin lama waktu simulasi maka semakin banyak node yang berjalan.

repository.ub.ac.id
UNIVERSITAS BRAWIJAYA

BAB 6 PENUTUP

Bagian ini berisi kesimpulan terhadap penelitian yang dilakukan sesuai dengan rumusan masalah yang telah dirancang sebelumnya dan saran terhadap penelitian yang akan dilakukan di masa depan. Adapun kesimpulan dan saran dituliskan secara terpisah sebagai berikut.

6.1 Kesimpulan

1. Berdasarkan parameter pengujian yang digunakan yaitu *average throughput*, *packet delivery ratio,* dan *end-to-end delay,* didapatkan hasil kinerja protokol *routing* AODV pada masing-masing variasi model jalan sebagai berikut.

    a) Berdasarkan parameter uji *average throughput*, model jalan dengan kinerja protokol *routing* AODV dari hasil terbaik hingga terburuk secara berurutan adalah model jalan permukiman dengan nilai *average throughput* sebesar 212,82 KBps, model jalan perkotaan dengan nilai *average throughput* sebesar 210,07 KBps, model jalan antar kota dengan nilai *average throughput* sebesar 156,20 KBps, dan model jalan bebas hambatan dengan nilai *average throughput* sebesar 111,48 KBps.

    b) Berdasarkan parameter uji *packet delivery ratio*, model jalan dengan kinerja protokol *routing* AODV dari hasil terbaik hingga terburuk secara berurutan adalah model jalan permukiman dengan nilai *packet delivery ratio* sebesar 77,27 %, model jalan perkotaan dengan nilai *packet delivery ratio* sebesar 77.18 %, model jalan antar kota dengan nilai *packet delivery ratio* sebesar 58,08 %, dan model jalan bebas hambatan dengan nilai *packet delivery ratio* sebesar 40,99 %.

    c) Berdasarkan parameter uji *end-to-end delay*, model jalan dengan kinerja protokol *routing* AODV dari hasil terbaik hingga terburuk secara berurutan adalah model jalan permukiman dengan nilai *end-to-end delay* sebesar 0,03362 detik, model jalan perkotaan dengan nilai *end-to-end delay* sebesar 0,05839 detik, model jalan antar kota dengan nilai *end-to-end delay* sebesar 0,08036 detik, dan model jalan bebas hambatan dengan nilai *end-to-end delay* sebesar 0,14676 detik.

    Berdasarkan hasil tersebut, disimpulkan bahwa model jalan di Indonesia dengan kinerja protokol *routing* AODV pada jaringan VANET dari yang terbaik hingga terburuk secara berurutan adalah model jalan permukiman, model jalan perkotaan, model jalan antar kota, dan model jalan bebas hambatan.

repository.ub.ac.id
UNIVERSITAS BRAWIJAYA

2. Setelah dilakukan analisis dari hasil skenario pengujian sebelumnya, dapat disimpulkan bahwa perbedaan variasi model jalan di Indonesia antara lain model jalan permukiman, model jalan perkotaan, model jalan antar kota, dan model jalan bebas hambatan sangat berpengaruh terhadap kinerja protokol *routing* AODV pada jaringan VANET. Hal tersebut disebabkan karena pada masing-masing variasi model jalan memiliki karakteristik lingkungan yang berbeda baik dalam segi kecepatan maksimal kendaraan, jumlah lajur jalan dan jumlah ruas jalan yang terbentuk. Jika semakin rendah kecepatan kendaraan maka kinerja protokol *routing* AODV semakin baik sesuai dengan karakteristik AODV yang bersifat *reactive* dimana semakin rendah kecepatan kendaraan maka semakin baik ketahanan node yang terbentuk sehingga performa yang dihasilkan akan semakin baik pula, sebaliknya semakin cepat laju kendaraan maka kinerja AODV semakin buruk. Adapun jika semakin banyak jumlah ruas jalan, maka kinerja protokol *routing* AODV semakin baik karena jarak yang terbentuk antar node relatif lebih dekat sesuai dengan karakteristik AODV yang menerapkan mekanisme *shortest-path* atau jalur terdekat/terpendek dalam menentukan pemilihan *node hop,* sedangkan semakin sedikit jumlah ruas jalan yang terbentuk maka kinerja protokol *routing* AODV akan semakin buruk karena jarak yang terbentuk antar node akan relatif lebih jauh.

6.2 Saran

Terdapat beberapa saran dari penulis untuk pengembangan penelitian di masa yang akan datang, yaitu:

1. Melakukan implementasi dan atau analisis protokol *routing* AODV dengan mode komunikasi *Vehicle to Infrastructure Communication* (V2I) yang melibatkan RSU (*Road Side Unit*) atau sejenisnya sehingga komunikasi yang terbentuk lebih baik.
2. Melibatkan bangunan sekitar lingkungan pengujian dalam simulasi sehingga dapat diketahui hasil kinerja yang lebih andal dan mendekati keadaan riil.
3. Menggunakan protokol *routing* berbeda yang lebih baru di masa depan sehingga dapat dihasilkan kinerja jaringan VANET yang lebih optimal.

repository.ub.ac.id
UNIVERSITAS BRAWIJAYA

DAFTAR PUSTAKA

Ayyappan, B., Kumar, M., 20016. *Vehicular Ad Hoc Networks (VANET): Architectures, Methodologies And Design Issues*. Jurnal. Second International Conference on Science Technology Engineering and Management (ICONSTEM).

Badan Pusat Statistik. 2015. *Perkembangan Jumlah Kendaraan Bermotor Menurut Jenis, 1949-2015*. Tersedia di: <https://www.bps.go.id/linkTableDinamis/view/id/1133> [Diakses 14 April 2018]

BPS. 2015. *Panjang Jalan Menurut Jenis Permukaan, 1957-2015 (Km)*. Tersedia di: <https://www.bps.go.id/linkTableDinamis/view/id/820> [Diakses 14 April 2018]

Behrisch. M., Bieker, L., Erdmann, J., Krajzwqicz, D., 2011. *SUMO – Simulation of Urban Mobility*. Jurnal. The Third International Conference on Advances in System Simulation.

Dixit, M., Kumar, R., Sagar, A.K., 2016. *VANET: Architectures, Research Issues, Routing Protocols, and its Application*. Jurnal. International Conference on Computing, Communication and Automation (ICCCA2016).

Djaenouri, D., Soualhi, W., Nekka, E., 2008. *VANET's Mobility Models and Overtaking: An Overview*. Jurnal. 3rd International Conference on Information and Communication Technologies: From Theory to Applications.

Duduku, V.V., Wong, F., Chekima, A., Dargham, J.A., 2015. *A Study on Vehicular Ad-Hoc Network*. Jurnal. 3rd International Conference on Artificial Intelligence, Modelling and Simulation.

Ericka, J.W.P., 2016. *Optimasi Kinerja Protokol AODV pada Skenario Vehicle to Vehicle Communication dengan Static Intersection Node*. Thesis. Institut Teknologi Sepuluh Nopember.

Eugster. M., Weber, P., 2008. *OpenStreetMap: User-Generated Street Maps*. Jurnal. IEEE Pervasive Computing.

Fall, K., Varadhan, K., 2011. *The ns Manual (formerly ns Notes and Documentation)*. [e-book]. The VINT Project. Tersedia di: <https://www.isi.edu/nsnam/ns/doc/ns_doc.pdf> [Diakses 13 Juli 2018].

Haklay. M., Schlesinger, T., 2013. *osmar: OpenStreetMap and R*. Jurnal. r-project. [pdf]. Tersedia di https://journal.r-project.org/archive/2013-1/eugster-schlesinger.pdf> [Diakses 17 Maret 2018].

Iqbal, M., Shafiq, M., Choi, J.G., Attaullah, H., Akram, K., Wang, X., 2014. *Design and Analysis of a Novel Hybrid Wireless Mesh Network Routing Protocol*. Jurnal. International Journal of Adaptive, Resilient and Autonomic Systems

repository.ub.ac.id
UNIVERSITAS BRAWIJAYA

Jakubiak, J., Koucheryavy, Y., 2008. *State of the Art and Research Challenges for VANETs*. Jurnal. 5th IEEE Consumer Communications and Networking Conference.

Jyothi, A.S., Singla, A., Godfrey, B.P., Kolla, A., 2016. *Measuring and Understanding Throughput of Network Topologies*. Jurnal. University of Illinoi Urbana–Champaign.

Kementerian Perhubungan. 2015. *Peraturan Menteri Perhubungan Nomor PM 111 Tahun 2015*. [pdf] Kementerian Perhubungan. Tersedia di: <http://jdih.dephub.go.id/assets/uudocs/permen/2015/PM_111_Tahun_2015.pdf> [Diakses 02 Februari 2018].

Krajzwicz, D., Erdmann, J., Behrisch. M., Bieker, L., 2012. *Recent Development and Applications of SUMO - Simulation of Urban Mobility*. Jurnal. International Journal on Advances in Systems and Measurements.

Mustafa, B., Raja, U.W., 2010. *Issues of Routing in VANET*. Thesis S2. School of Computing Blekinge Institute of Technology.

Perkins, C., Royer, E., Das, E., 2003. *Ad hoc On-demand Distance Vector (AODV) Routing*. ACM Digital Library. [e-journal]. Tersedia di: <https://dl.acm.org/citation.cfm?id=RFC3561> [Diakses 27 Januari 2018].

Rehman, S.U., Khan, M.A., Zia, T.A., Zheng, L., 2017. *Vehicular Ad-Hoc Networks (VANETs) - An Overview and Challenges*. Jurnal. Journal of Wireless Networking and Communications.

Rohal, P., Dahiya, R., Dahiya, P., 2013. *Study and Analysis of Throughput, Delay and Packet Delivery Ratio in MANET for Topology Based Routing Protocols (AODV, DSR and DSDV)*. Jurnal. International Journal For Advanced Research in Engineering and Technology.

Rupinder, K., Gurpeet, S., 2014. *Survey of Various Mobility Models in VANETs*. Jurnal. International Journal Of Engineering And Computer Science ISSN:2319-7242.

Shofruzzaman, M., Masud, M., Rahman, M.M., 2016. *Characterizing End-to-End Delay Performance of Randomized TCP Using an Analytical Model*. Jurnal. (IJACSA) International Journal of Advanced Computer Science and Applications.

Singh, S., Agrawal, S., 2014. *VANET Routing Protocols: Issues and Challenges*. Jurnal. Recent Advances in Engineering and Computational Sciences (RAECS).

Yasser, A., Zorkany, M., Kader, N.A., 2017. *VANET Routing Protocol for V2V Implementation: A Suitable Solution for Developing Countries*. Jurnal. Cogent Engineering.

repository.ub.ac.id
UNIVERSITAS BRAWIJAYA

Yu, X., Guo, H., Wong, W.C., 2011. *A reliable routing protocol for VANET communications*. Jurnal. 2011 7th International Wireless Communications and Mobile Computing Conference.

repository.ub.ac.id
UNIVERSITAS BRAWIJAYA