

Pengaruh Model Mobilitas Node Pada Protokol *Routing* AODV dalam MANET

Laisa Ryry Pudja Mentari¹, Rakhmadhany Primananda², Achmad Basuki³

Program Studi Teknik Informatika, Fakultas Ilmu Komputer, Universitas Brawijaya
Email: ¹laisaryryp@gmail.com, ²rakhmadhany@ub.ac.id, ³abazh@ub.ac.id

Abstrak

Mobile Ad-Hoc Network (MANET) merupakan salah satu jenis *Ad-hoc Network* yang terdiri atas node-node nirkabel yang independen. Setiap node dapat bertindak sebagai *relay* dan mentransmisikan pesan ke node-node lain yang tidak dapat berkomunikasi secara langsung. Node-node dalam MANET bergerak secara dinamis sehingga memungkinkan penggunaan berbagai jenis model mobilitas. Namun, model mobilitas yang digunakan dapat memicu meningkatnya resiko terputusnya koneksi dan kegagalan *routing* yang semakin tinggi. Hal tersebut tentu berdampak pada kualitas kerja jaringan dan menjadi salah satu faktor penting yang perlu dipertimbangkan saat menguji kualitas kinerja jaringan. Terdapat beberapa protokol *routing* yang digunakan pada MANET, salah satunya yaitu *Ad-Hoc on Demand Distance Vector* (AODV). Penggunaan AODV dalam penelitian ini karena AODV termasuk salah satu protokol *routing* yang dapat beradaptasi dengan cepat terhadap kondisi *link* yang dinamis. Penelitian ini memberikan analisis terhadap pengaruh mobilitas node pada AODV dalam topologi MANET menggunakan Network Simulator 3.25. Penelitian dijalankan menggunakan model mobilitas *Random Waypoint* dan *Random Direction* dengan mengukur kinerja jaringan menggunakan parameter pengujian berupa *packet delivery ratio* (PDR), *average end-to-end delay*, dan waktu konvergensi *routing*. Pengujian dilakukan terhadap kedua model mobilitas tersebut dengan skenario pengujian berupa variasi jumlah node sebanyak 15, 25, 40, dan 50 node serta luas area simulasi 750 m² dan 1250 m². Hasil pengukuran PDR menunjukkan nilai tertinggi pada *Random Direction* dengan nilai 89.15% pada area simulasi 750 m². Sementara itu nilai *average end-to-end delay* terendah pada *Random Direction* sebesar 25.93 ms pada area simulasi 750 m². Serta nilai waktu konvergensi *routing* terendah pada *Random Direction* selama 0.534 sekon pada area simulasi 750 m².

Kata kunci: MANET, AODV, *random waypoint*, *random direction*, NS-3.25

Abstract

Mobile Ad-Hoc Network (MANET) is one type of *Ad-hoc Network* that consist of independent wireless nodes. Each node can act as a relay and transmit a message to the other nodes that indirectly connected. In MANET, the nodes are moving dynamically so that it allows the use of different types of mobility model. However, the use of mobility models can lead into higher possibility of disconnection and higher routing failure. It could impact on the quality of network performance and became one of the important factor to considered when measuring the quality of network performance. There are some routing protocols that are used on MANET, one of which is *Ad-Hoc on Demand Distance Vector* (AODV). AODV is used because it is one of the most rapid adaptive routing protocols for dynamic link conditions. This research provided an analysis of the effect of node mobility on AODV in MANET topology using Network Simulator 3.25. Research was conducted using *Random Waypoint* (RWP) and *Random Direction* (RD) mobility model by measuring network performance metrics specifically *packet delivery ratio* (PDR), *average end-to-end delay*, and routing convergence time. Tests were conducted on both mobility models with scenario of 15, 25, 40, and 50 nodes variation and 750 m² and 1250 m² of simulation area. Measurement results show the highest PDR value is in RD with 92.27% in 750 m² area. Meanwhile, the lowest end-to-end delay value is in RD with 25.93 ms in the 750 m² area and the lowest routing convergence time value is in RD with 0.534 second on 750 m² simulation area as well.

Keywords: MANET, AODV, *random waypoint*, *random direction*, NS-3.25

1. PENDAHULUAN

Dewasa ini, teknologi informasi berkembang semakin pesat. Salah satunya adalah perkembangan tren pada teknologi jaringan nirkabel yang memungkinkan pengguna untuk bergerak dari satu tempat ke tempat lain tanpa terkendala infrastruktur. Pengguna masih dapat saling berkomunikasi menggunakan Ad-hoc Network. Mobile Ad-Hoc Network (MANET) merupakan salah satu jenis Ad-hoc Network yang terdiri atas node-node nirkabel yang independen dalam suatu jaringan. Setiap node bertindak sebagai relay dan mentransmisikan pesan ke node-node lain yang tidak dapat berkomunikasi secara langsung. Selain itu, setiap node bisa bergerak kemanapun secara acak karena tidak terhubung melalui koneksi kabel (Keerthi, Chaithanyaranga, & Shreedevi, 2016). Sifat dari jaringan nirkabel yang dinamis menjadikan Ad-hoc Network sesuai untuk keadaan darurat seperti bencana alam, kebutuhan militer, keadaan darurat medis, dll (Rohankar, et al., 2012).

Pergerakan node pada MANET memicu meningkatnya resiko kegagalan hubungan antar node, yang dapat menyebabkan terputusnya koneksi dan kegagalan routing. Hal tersebut tentunya mempengaruhi kinerja dari jaringan MANET (Das, Sahu, & Bhanja, 2015). Selain itu, pergerakan node pada jaringan MANET dapat menyebabkan topologi yang telah terbentuk seringkali berubah dengan cepat seiring pergerakan node, sehingga pengiriman data dapat mengalami delay atau bahkan terputus (Laqtib, et al., 2016). Model mobilitas merupakan salah satu parameter yang perlu dipertimbangkan ketika melakukan analisis protokol dalam suatu simulasi. Model mobilitas menggambarkan pola pergerakan pengguna, lokasi, dan akselerasi yang berubah seiring waktu. Pemilihan model mobilitas dapat berdampak besar pada pemilihan skema routing dengan kemudian dapat mempengaruhi kinerja routing (Rohankar, et al., 2012).

MANET memiliki beberapa jenis model mobilitas, diantaranya adalah Random Waypoint Mobility Model (RWP), dan Random Direction Mobility Model (RD). Kedua model mobilitas tersebut memiliki perbedaan dari sisi pergerakan serta kecepatan node yang akan terjadi selama simulasi berjalan. RWP merupakan model mobilitas yang memiliki pola pergerakan yang cenderung berkumpul di satu

area simulasi sehingga dapat menyebabkan terjadinya density wave. Lalu RD adalah model mobilitas yang memiliki pola yang cenderung bergerak ke tepi area simulasi untuk menghindari permasalahan density wave yang dihasilkan oleh RWP (Laqtib, et al., 2016). Selain model mobilitas, protokol routing juga berperan penting untuk menunjang efisiensi pertukaran data dalam sebuah jaringan. Protokol routing yang digunakan dalam penelitian ini adalah Ad-hoc On Demand Distance Vector (AODV), yang merupakan salah satu protokol routing bertipe reaktif yang tidak membebani jaringan dengan hanya membentuk rute saat node diperlukan untuk mengirim paket data (Kampitaki, 2014).

Berdasarkan penjelasan di atas, pada penelitian ini penulis menggunakan protokol routing AODV serta model mobilitas Random Waypoint dan Random Direction pada MANET. Kedua model mobilitas tersebut dibandingkan berdasarkan hasil kinerja dengan tujuan untuk mengetahui model mobilitas yang tepat untuk digunakan pada kondisi simulasi tertentu. Perbandingan kinerja dilakukan menggunakan parameter pengujian berupa packet delivery ratio, end-to-end delay, dan waktu konvergensi routing. Sementara skenario pengujian dilakukan dengan memvariasikan jumlah node serta luas area simulasi.

2. PENELITIAN TERDAHULU

Penelitian yang telah dilakukan oleh Laqtib, et al. (2016) mengenai pengaruh model mobilitas pada Optimized Link State Routing Protocol (OLSR) dalam infrastruktur MANET. Penelitian tersebut menganalisis model mobilitas Random Waypoint, Random Direction, Random Walk, dan Gauss Markov yang berhubungan dengan pengaturan topologi, dan luas area simulasi. Skenario yang digunakan adalah dengan melakukan perubahan pada variasi jumlah node pada jaringan dengan jumlah 20, 40, 60, 80, dan 100 node dengan waktu simulasi selama 1000 detik. Simulasi dilakukan menggunakan NS-3. Hasil penelitian yang didapatkan dari parameter pengujian berupa packet delivery ratio (PDR), throughput, dan end-to-end delay yaitu bahwa random waypoint memiliki kinerja lebih baik diikuti oleh random walk, gauss markov, dan random direction. Kinerja random waypoint dapat dikatakan paling baik diantara model mobilitas lain karena nilai PDR dan throughput yang dihasilkan merupakan yang tertinggi dan

cenderung meningkat seiring dengan bertambahnya jumlah node. Nilai end-to-end delay pada random waypoint juga merupakan yang terendah dan tidak mengalami peningkatan signifikan untuk setiap penambahan jumlah node pada simulasi (Laqtib, et al., 2016).

Nayak dan Sinha membandingkan model mobilitas Random Waypoint dan Random Walk pada protokol routing Ad-Hoc on Demand Distance Vector (AODV) dan Dynamic Source Routing (DSR) dalam infrastruktur MANET. Skenario yang dilakukan dalam simulasi menggunakan NetSim Simulator adalah membandingkan kinerja kedua model mobilitas tersebut menggunakan skenario berupa variasi jumlah node dari 6 sampai 40 node dengan waktu simulasi selama 200 detik. Pause time yang digunakan dalam simulasi yaitu 10 detik. Hasil penelitian yang didapatkan dari parameter pengujian berupa throughput, end-to-end-delay, PDR, routing overhead, dan network lifetime yaitu bahwa pada model mobilitas random waypoint kinerja DSR lebih baik dalam hal throughput, PDR, routing overhead, dan network lifetime sementara AODV lebih baik pada end-to-end-delay. Begitu pula pada model mobilitas random walk, DSR tetap unggul walaupun dengan nilai routing overhead yang hampir sebanding dengan AODV (Nayak dan Sinha, 2015).

Pada penelitian yang ditulis oleh Keerthi, Chaithanyaranga, dan Shreedevi tentang evaluasi kinerja model mobilitas pada MANET dan Wireless Sensor Network (WSN) telah dilakukan analisis terhadap model mobilitas random waypoint dan flag mobility menggunakan Qualnet 6.1 Simulator. Skenario yang digunakan yaitu area simulasi seluas 1500x1500m dan 150x150m dengan besar paket data yang dikirim 512 bytes dan 70 bytes. Waktu simulasi yang digunakan adalah selama 300 detik. Hasil penelitian yang didapatkan dari parameter pengujian berupa throughput, end-to-end delay, jitter dan jumlah paket yang diterima yaitu bahwa pada WSN kinerja flag mobility lebih baik daripada random waypoint untuk seluruh parameter pengujian. Hal tersebut dikarenakan pergerakan node pada flag mobility yang memiliki jalur yang telah ditentukan secara manual, berbeda dengan pergerakan random waypoint yang acak. Begitu pula pada MANET, kinerja dari flag mobility lebih baik daripada random waypoint pada setiap parameter pengujian karena pergerakan node pada flag mobility dapat ditentukan secara manual

(Keerthi, Chaithanyaranga, & Shreedevi, 2016).

3. MOBILE AD-HOC NETWORK (MANET)

Mobile Ad-Hoc Network (MANET) adalah salah satu jenis *Ad-Hoc Network* yang terdiri atas *node-node* yang bersifat *mobile* dan terhubung melalui koneksi nirkabel. Komunikasi antar *node* dalam MANET berjalan secara independen tanpa intervensi dari akses poin yang terpusat. MANET memiliki sifat *self-configuring* dan *infrastructure-less*. Setiap *node* yang terhubung dalam MANET dapat bertindak sebagai *node* sumber, *node* tujuan, ataupun *node* perantara yang dapat menghubungkan satu *node* dengan *node* lain yang tidak dapat berkomunikasi secara langsung. Gambar 1 menunjukkan beberapa contoh perangkat yang dapat digunakan sebagai contoh *node* pada MANET yaitu *laptop*, *smartphone*, dan *notebook*, yang terhubung satu sama lain.



Gambar 1. Topologi MANET

Sumber : Lakshman, Khan, dan Mishra (2016)

3.2. Ad-hoc On Demand Distance Vector (AODV)

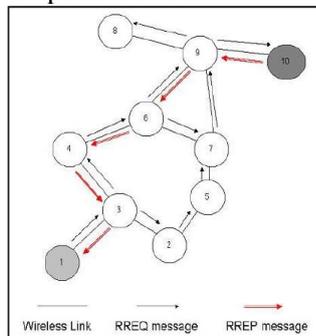
AODV merupakan salah satu protokol routing reaktif yang digunakan pada *Ad-Hoc Network*. Pada AODV, tabel *routing* dibuat saat ada permintaan pengiriman paket data dan belum ada jalur menuju node tujuan. AODV menggunakan *sequence number* yang diterima dari node tujuan. Penggunaan *sequence number* bertujuan untuk menjaga informasi pada tabel *routing* tetap *up-to-date* dan menghindari perulangan *routing* yang mungkin dapat terjadi.

Terdapat dua fase dalam operasi AODV, yaitu:

1. Proses *Route Discovery*

Proses *route discovery* dilakukan ketika suatu *node* ingin mengirim paket data ke *node* tujuan dan tidak memiliki jalur yang valid dalam tabel *routing*. Maka *node* sumber akan melakukan broadcast pesan *route request*

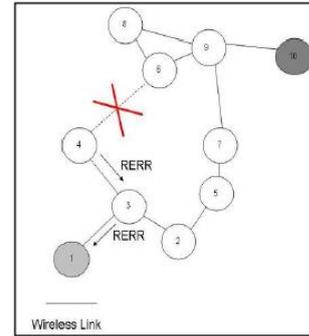
(RREQ) kepada *node-node* tetangganya. Setiap *node* memiliki *sequence number* dan *broadcast ID* yang nilainya akan bertambah setiap kali mengirimkan pesan RREQ. Pesan RREQ berisi *sequence number*, *broadcast ID*, dan *sequence number* baru yang dimiliki RREQ untuk *node* tujuan. Broadcast pesan RREQ dilakukan sampai ada *node* tetangga yang memiliki informasi tentang jalur menuju *node* tujuan. Kemudian *node* tetangga akan mengirim pesan *route reply* (RREP). Pengiriman pesan RREP ke *node* sumber dilakukan bersamaan dengan pembuatan *reverse path*. Ketika pesan RREP telah mencapai *node* sumber dan *reverse path* telah dibentuk, maka jalur routing telah selesai dibentuk. Proses *route discovery* ditunjukkan pada Gambar 2.



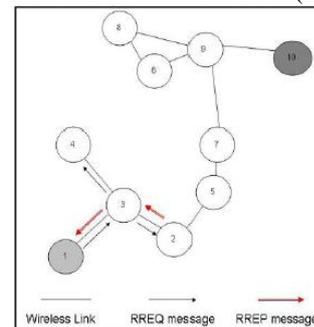
Gambar 2. Proses *Route Discovery* pada AODV
 Sumber : Bobade dan Mhala (2012)

2. Proses *Route Maintenance*

Jalur *routing* yang telah terbentuk bertahan selama jangka waktu tertentu. Ketika sebuah jalur yang menghubungkan *node* sumber dan *node* tujuan terputus, maka *node* tetangga terdekat dengan lokasi terputusnya jalur akan mengirimkan pesan *route error* (RERR) kepada *node* sumber. Setelah menerima pesan RERR, maka *node* sumber akan segera melakukan broadcast RREQ baru. Setelah *node* tetangga mengirim pesan RREP kepada *node* sumber, maka *reverse path* baru telah selesai dibentuk dan siap digunakan untuk mengirim pesan ke *node* tujuan. Proses *route maintenance* ditunjukkan pada Gambar 3. dan 4.



Gambar 3. Pengiriman pesan RERR pada AODV
 Sumber : Bobade dan Mhala (2012)

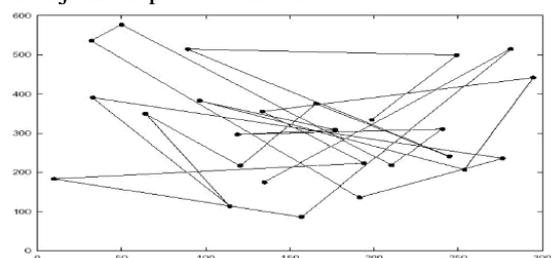


Gambar 4. Proses penemuan rute baru pada AODV
 Sumber : Bobade dan Mhala (2012)

3.3. Model Mobilitas

1. *Random Waypoint Mobility Model*

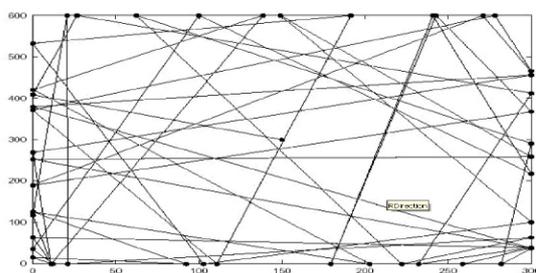
Pada model mobilitas *random waypoint* (RWP), *node* didistribusikan secara acak dalam jaringan. Setiap *node* menyebar secara independen dari *node* yang lain. Prosedur yang ditempuh oleh RWP dalam memulai pergerakan yaitu setiap *node* memilih tujuan secara acak. Selain itu, setiap *node* juga memilih kecepatan pergerakan secara acak dari interval [Speedmin, ..., Speedmax]. Setelah *node* sampai di tujuan, setiap *node* akan berhenti sejenak sesuai dengan pause time yang telah ditentukan sebelum kembali bergerak menggunakan prosedur yang sama (Laqtib, et al., 2016). Pola pergerakan dari setiap *node* yang menggunakan model mobilitas RWP cenderung berkumpul pada satu area simulasi. Yang dapat menyebabkan terjadinya density wave atau penumpukan *node* di satu area simulasi. Pergerakan *node* menggunakan RWP ditunjukkan pada Gambar 5.



Gambar 5. Pergerakan *Random Waypoint*
 Sumber : Rohankar, et al. (2012)

2. **Random Direction Mobility Model**

Random Direction didefinisikan sebagai model mobilitas yang dikembangkan dengan tujuan untuk menghindari masalah *density wave* yang disebabkan oleh RWP. *Density wave* adalah penumpukan *node* pada satu sisi field simulasi. Pada model mobilitas ini, *node* memilih arah secara acak dan bergerak secara terpisah sampai mencapai batas field simulasi. Ketika *node* telah sampai di batas field simulasi dan berhenti saat *pause time*, kemudian *node* tersebut memilih pergerakan ke arah lain sehingga *node* tersebar secara merata. Pergerakan *node* menggunakan RD ditunjukkan pada Gambar 6.



Gambar 6. Pergerakan *Random Direction*
 Sumber : Rohankar, et al. (2012)

3.4. **Congestion**

Congestion atau kemacetan dapat terjadi pada jaringan jika beban pada jaringan atau dapat dikatakan jumlah paket yang dikirim ke jaringan melebihi kapasitas dari jaringan itu sendiri. Hal ini disebabkan karena setiap *node* yang berperan sebagai *router* memiliki *buffer* antrian yang mengatur paket sebelum dan setelah diproses. *Congestion* dapat menyebabkan terjadinya penurunan layanan dan juga dapat menyebabkan *delay* serta *packet loss* (Rana, et al., 2012).

4. **PERANCANGAN SIMULASI**

4.1 **Perancangan Parameter Simulasi**

Perancangan parameter ini bertujuan untuk memberikan gambaran secara garis besar tentang sistem yang akan dirancang pada NS-3.25. Sistem dirancang dengan kondisi sedemikian rupa sesuai dengan daftar parameter pada Tabel 1.

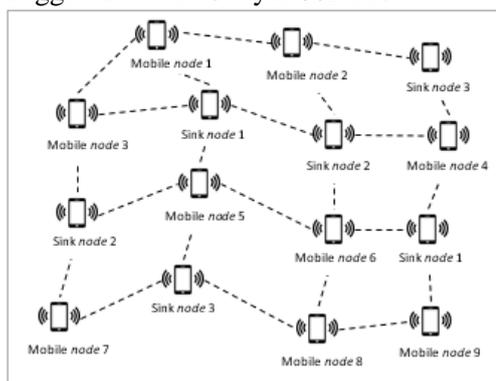
Tabel 1. Parameter Simulasi

Parameter	Nilai
Protokol Routing	AODV
Jumlah Node	15, 25, 40, 50 node

Kecepatan Maksimal	1,5 m/s
Model Mobilitas	<i>Random Waypoint, Random Direction Mobility Model</i>
Luas Area	750 m ² dan 1250 m ²
Waktu Simulasi	200 detik
Ukuran Paket Data	512 byte
Data Rate	2048 kbps
Jenis Trafik	CBR (<i>Constant Bit Rate</i>)

4.2 **Perancangan Topologi**

Pada penelitian ini luas area simulasi yang diujikan adalah 750 m² dan 1250 m². Terdapat beberapa variasi jumlah *node* yang digunakan yaitu kategori densitas rendah, rendah-menengah, menengah-tinggi, serta tinggi. Untuk densitas rendah menggunakan 15 *node*, densitas rendah-menengah 25 *node*, menengah-tinggi 40 *node*, dan densitas tinggi menggunakan 50 *node*. Pada setiap skenario terdapat 3 pasang *node* yang berperan sebagai *sink node*/packet sink (pasangan *node* yang berperan sebagai pengirim dan penerima). Sebagai contoh topologi MANET pada Gambar 7 yang memiliki 15 *node* dengan 3 pasang *packet sink* akan memiliki 9 buah *mobile node* yang berfungsi sebagai perantara. Setiap *node* dapat berhubungan satu sama lain yang dalam penelitian ini menggunakan MAC layer 802.11b.



Gambar 7. Topologi MANET dengan 15 Node

4.3 **Skenario Pengujian**

Pada penelitian ini, skenario pengujian dirancang untuk mendapatkan data berupa *packet delivery ratio*, *end-to-end delay*, dan waktu konvergensi routing yang digunakan sebagai dasar analisis. Setiap skenario pengujian dilakukan dengan adanya model pergerakan *Random Waypoint* dan *Random Direction*.

Kecepatan pergerakan setiap *node* untuk setiap skenario diasumsikan sama yaitu 1.5 m/s. Jumlah *node* yang digunakan pada pengujian pun bervariasi, yaitu 15 *node*, 25 *node*, 40 *node*, dan 50 *node*. Selain skenario menggunakan jenis model mobilitas, variasi jumlah *node*, dan luas area juga terdapat sebuah skenario yang digunakan untuk memutus sebuah *node* dari jaringan pada waktu detik ke-50, 55, 60, 65, dan 70 pada saat simulasi berjalan.

Skenario pengujian dilakukan dengan mengirimkan paket UDP ke jaringan. Interval pengiriman paket data dilakukan setiap 2 detik selama 200 detik. Besar data rate yang digunakan adalah 2048 Kbps dengan paket data sebesar 512 byte. Pengiriman paket data dilakukan oleh pasangan *sink node* yang alamatnya telah ditentukan. Kemudian pada waktu-waktu tertentu dijalankan skenario pemutusan *node* untuk mendapatkan nilai waktu konvergensi. Sedangkan nilai PDR dan *end-to-end delay* didapatkan dari perhitungan *flow monitor* yang telah dirancang pada *script* simulasi. Pengujian dilakukan sebanyak lima kali untuk masing-masing skenario waktu pemutusan *node* pada setiap variasi jumlah *node* dan model mobilitas.

4.4 Parameter Pengujian

a. Packet Delivery Ratio (PDR)

Pengujian menggunakan PDR merupakan rasio perbandingan antara banyaknya paket yang diterima *node* tujuan dengan banyaknya paket yang dikirim oleh *node* sumber. PDR dapat dihitung menggunakan persamaan :

$$PDR = \frac{Pr}{Ps} \times 100\%$$

Pr = Jumlah paket yang diterima

Ps = Jumlah paket yang dikirim

b. End-to-End Delay

Pengujian yang dilakukan untuk mendapatkan nilai *end-to-end delay* dilakukan dengan menjumlahkan seluruh nilai *delay* yang terjadi selama pengiriman data kemudian dibandingkan dengan jumlah paket data yang diterima. *end-to-end delay* dapat dihitung menggunakan persamaan :

$$End-to-EndDelay = \sum_{i=0}^n \frac{Tr [i]-Ts[i]}{Total\ paket\ diterima} ms$$

Dimana :

Tr = Waktu ketika paket data diterima

Ts = Waktu ketika paket data dikirim

i = Nomor paket data yang telah diterima

c. Waktu Konvergensi

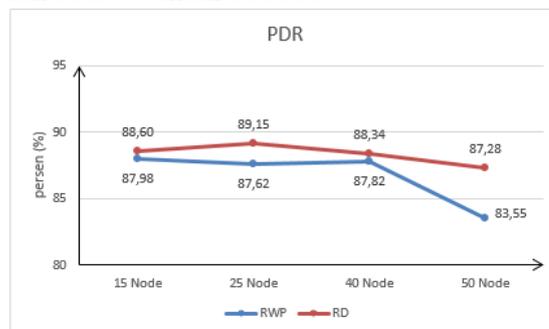
Waktu konvergensi *routing* digunakan sebagai salah satu parameter pengujian yang bertujuan untuk menghitung lamanya waktu yang diperlukan untuk menemukan rute baru jika rute yang akan dilewati tidak tersedia. Pada protokol *routing* AODV perhitungan waktu konvergensi dilakukan dengan menghitung selisih antara waktu pesan RERR (*Route Error*) terdeteksi oleh *node* sumber sampai dengan ditemukannya rute baru yang ditandai oleh terdeteksinya pesan RREP (*Route Reply*) oleh *node* sumber. Pada penelitian ini, nilai waktu konvergensi didapatkan menggunakan AWK untuk mengolah data yang didapatkan dari *trace file* berekstensi .tr.

5. HASIL DAN PEMBAHASAN

5.1 Analisis Performansi Berdasarkan Jumlah Node

a. Packet Delivery Ratio (PDR)

Nilai PDR didapatkan dari hasil perbandingan jumlah paket data yang diterima oleh *node* tujuan dengan paket yang dikirim *node* sumber. Hasil pengujian yang didapatkan saat dilakukan pengiriman paket data dengan area simulasi seluas 750 m² ditunjukkan pada Gambar 8. Gambar tersebut menjelaskan tentang hasil simulasi berdasarkan variasi jumlah *node* pada area simulasi seluas 750 m². Diperoleh hasil bahwa PDR yang dihasilkan oleh kedua model mobilitas walaupun tidak berbanding jauh, tetapi secara umum RD memiliki nilai PDR yang lebih baik daripada RWP. Pada gambar tersebut diketahui bahwa RD pada kepadatan 15 *node* menghasilkan PDR sebesar 88.6%, 89.15% untuk 25 *node*, 88.34% untuk 40 *node*, dan 87.28% untuk 50 *node*. Serangan pada RWP didapatkan hasil sebesar 87.98% untuk 15 *node*, 87.62% untuk 25 *node*, 87.82% untuk 40 *node*, dan 83.55% untuk 50 *node*.

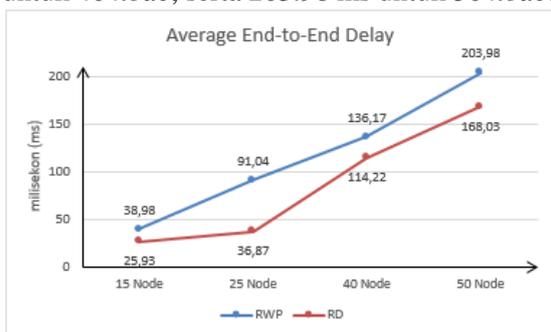


Gambar 8. PDR vs Jumlah Node

b. End-to-End Delay

Nilai *end-to-end delay* didapatkan dari perbandingan lama waktu pengiriman data dari *node* pengirim sampai ke *node* tujuan dengan banyaknya data yang diterima oleh *node* tujuan. Hasil pengujian yang didapatkan saat dilakukan pengiriman paket data dengan area simulasi seluas 750 m² ditunjukkan pada Gambar 9.

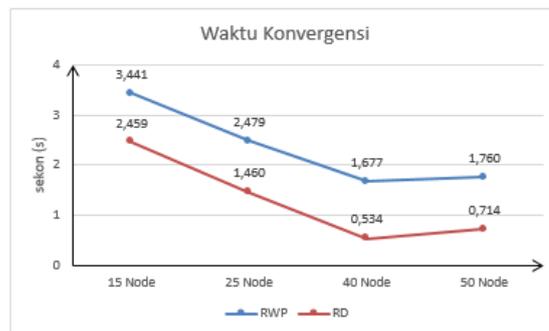
Gambar 9 menjelaskan tentang hasil simulasi yang dilakukan berdasarkan variasi jumlah *node* pada area simulasi seluas 750 m². Diperoleh hasil bahwa rata-rata *end-to-end delay* yang dihasilkan oleh kedua model mobilitas menunjukkan bahwa RD memiliki hasil *end-to-end delay* lebih baik daripada RWP. Dari gambar tersebut diketahui bahwa RD pada kepadatan 15 *node* menghasilkan nilai *end-to-end delay* sebesar 25.93 ms, 36.87 ms untuk 25 *node*, 114.22 ms untuk 40 *node*, dan 168.03 ms untuk 50 *node*. Sedangkan RWP menghasilkan nilai yang lebih tinggi yaitu 38.98 ms pada kepadatan 15 *node*, 91.04 ms untuk 25 *node*, 136.17 ms untuk 40 *node*, serta 203.98 ms untuk 50 *node*.



Gambar 9. *End-to-End Delay* vs Jumlah Node

c. Waktu Konvergensi

Waktu konvergensi adalah selisih antara waktu ketika sebuah jalur atau *node* terputus dan penemuan rute baru saat pengiriman data berlangsung. Pada protokol *routing AODV*, nilai waktu konvergensi didapatkan dari selisih waktu saat suatu paket data yang memiliki header RERR (*Route Error*) dikirimkan oleh *node* yang terputus kepada *node* pengirim. Kemudian *node* pengirim akan mencari rute baru dengan mengirimkan paket data dengan header RREQ (*Route Request*) dan akan mendapatkan balasan RREP (*Route Reply*) jika rute baru telah ditemukan. Selisih waktu antara RERR dan RREP inilah yang digunakan untuk menghitung nilai dari waktu konvergensi. Hasil pengujian yang didapatkan saat dilakukan pengiriman paket data dengan area simulasi seluas 750 m² ditunjukkan pada Gambar 10 di bawah ini.

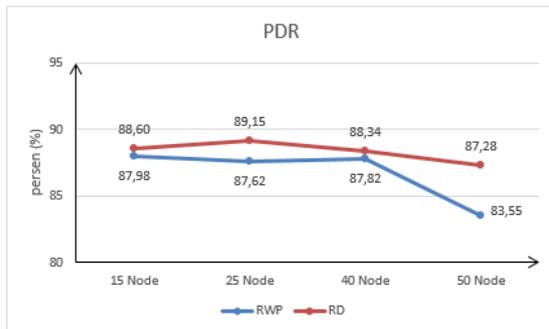


Gambar 10. Waktu Konvergensi vs Jumlah Node

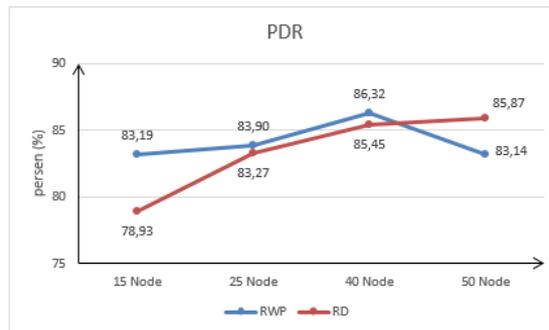
5.2 Analisis Performansi Berdasarkan Luas Area

a. Packet Delivery Ratio (PDR)

Nilai dari PDR menggambarkan tentang efektivitas dari kedua model mobilitas yang diujikan dalam hal pengiriman paket data. Dari Gambar 11 dapat diketahui bahwa semakin tinggi densitas yang terjadi pada area simulasi 750 m² menyebabkan nilai PDR cenderung semakin turun yang disebabkan oleh tingginya *congestion* pada jaringan. Sedangkan pada Gambar 12 dapat diketahui bahwa pada area simulasi 1250 m² performansi dari RWP lebih baik daripada RD dengan nilai rata-rata PDR sebesar 84.14% sedangkan untuk RD memiliki rata-rata 83.38%. Nilai PDR pada RWP cenderung lebih stabil jika dibandingkan dengan RD yang mana pada densitas *node* rendah menghasilkan nilai PDR yang lebih rendah. Sementara itu, pada area simulasi seluas 750 m² rata-rata PDR dari RD masih lebih baik dari RWP dengan nilai sebesar 88.34% sedangkan nilai rata-rata RWP sebesar 86.74%. Penyebab dari berbanding terbaliknya performansi dari RD dan RWP pada dua area simulasi yang berbeda yaitu pola pergerakan dari kedua model mobilitas tersebut. Dimana RD memiliki pola menyebar ke tepi area simulasi yang menyebabkan semakin jauhnya jarak antar *node*. Sedangkan pola pergerakan RWP yang cenderung berkumpul di salah satu area simulasi memperpendek jarak antar *node* sehingga mengurangi resiko hilangnya paket data saat pengiriman berlangsung.



Gambar 11. PDR Luas 750 m²

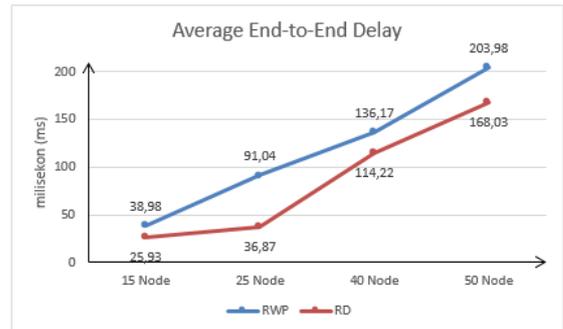


Gambar 12. PDR Luas 1250 m²

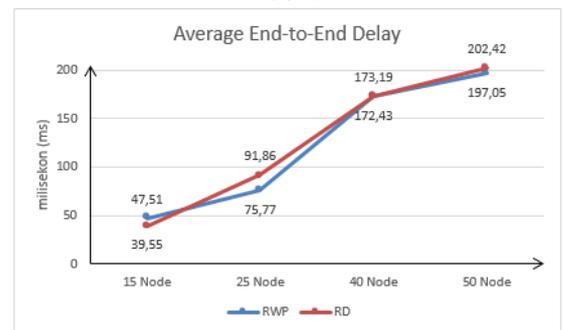
b. End-to-End Delay

Nilai dari *end-to-end delay* menunjukkan lama waktu pengiriman data sejak dikirim oleh *node* pengirim sampai tiba di *node* penerima. Semakin rendah nilai *end-to-end delay* maka semakin baik performansi dari jaringan tersebut. Dapat diketahui dari Gambar 13 dan Gambar 14 bahwa semakin luas area simulasi yang diujikan maka nilai rata-rata *end-to-end delay* semakin tinggi. Hal ini disebabkan oleh tingginya densitas yang terjadi dalam jaringan, sehingga *congestion* juga semakin meningkat seiring dengan pertambahan variasi jumlah *node*.

Pada area simulasi 1250 m² performansi kedua model mobilitas hampir sebanding walaupun nilai rata-rata *end-to-end delay* RWP yang memiliki nilai 123.19 ms masih lebih baik daripada RD dengan nilai 126.75 ms. Hal ini disebabkan oleh pergerakan RWP yang cenderung berkumpul di satu area simulasi sehingga memperpendek jarak persebaran antar *node*. Sebaliknya nilai RD menjadi semakin tinggi dan mendekati nilai rata-rata *end-to-end delay* RWP karena pergerakan RD yang menyebabkan jarak antar *node* semakin jauh dan mengakibatkan jarak yang ditempuh paket data selama pengiriman juga semakin panjang.



Gambar 13. Average End-to-End Delay (ms) Luas 750 m²



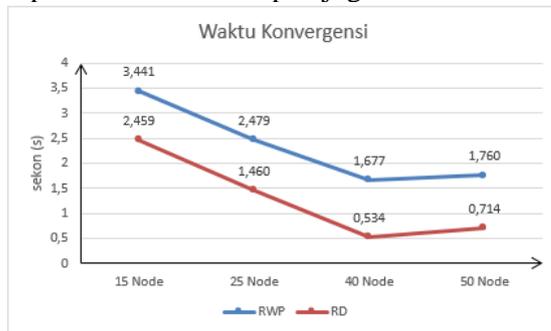
Gambar 14. Average End-to-End Delay (ms) Luas 1250 m²

c. Waktu Konvergensi

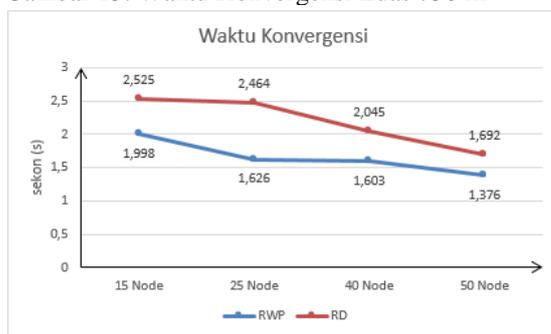
Waktu konvergensi dapat menjadi tolak ukur dari performansi sebuah protokol *routing* dengan menilai waktu yang dibutuhkan untuk mendapatkan rute baru saat sebuah jalur atau *node* terputus pada sebuah jaringan. Pada Gambar 15 dan 16 dapat diketahui bahwa performansi waktu konvergensi dari RWP dan RD berbanding terbalik pada luas area 750 m² dan 1250 m². Pada area simulasi 750 m² performansi RD lebih baik daripada RWP. Sedangkan pada area 1250 m² performansi dari RWP lebih baik daripada RD. Hal itu dapat disebabkan oleh jarak antar *node* yang semakin jauh pada RD yang bergerak menyebar menuju tepi area simulasi. Berbanding terbalik dengan RWP yang pergerakannya cenderung berkumpul di satu area simulasi yang menyebabkan jarak antar *node* pun semakin pendek. Waktu konvergensi yang dihasilkan kedua model mobilitas pun cenderung semakin menurun seiring dengan bertambahnya densitas pada jaringan yang disebabkan oleh jarak antar *node* yang semakin dekat sehingga waktu pencarian rute baru menjadi semakin singkat.

Dapat diketahui pula dari Gambar 15 bahwa pada densitas 50 *node* dengan area simulasi 750 m², waktu konvergensi untuk kedua model mobilitas bertambah tinggi dibandingkan saat densitas 40 *node*. Hal tersebut

dikarenakan pada area 750 m² tingginya densitas yang terjadi menyebabkan bertambahnya jumlah *congestion* sehingga waktu yang diperlukan untuk penemuan rute baru pun juga bertambah.



Gambar 15. Waktu Konvergensi Luas 750 m²



Gambar 16. Waktu Konvergensi Luas 1250 m²

6. KESIMPULAN

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan menggunakan NS-3.25 untuk mengetahui kinerja model mobilitas *Random Waypoint* (RWP) dan *Random Direction* (RD) pada protokol *routing* AODV dalam arsitektur *Mobile Ad-Hoc Network* (MANET), secara keseluruhan didapatkan beberapa kesimpulan sebagai berikut :

1. Implementasi dari model mobilitas RWP dan RD pada NS-3.25 telah berhasil dilakukan menggunakan *library* mobilitas yang tersedia. Untuk *library* RWP pada NS-3.25 terdapat tiga parameter yang harus didefinisikan, yaitu parameter kecepatan, *pause time*, dan *position allocator*. Sementara untuk *library* RD juga memiliki tiga parameter yang didefinisikan, yaitu kecepatan, *pause time*, dan *bounds*. Masing-masing model mobilitas di-install pada setiap node yang berada dalam jaringan. Dengan tujuan seluruh node dapat bergerak sesuai dengan mobilitas yang digunakan, untuk kemudian dapat dianalisis pengaruh dari mobilitas node terhadap jaringan.
2. Pengukuran kinerja model mobilitas RD menghasilkan nilai yang lebih unggul dengan

rata-rata PDR sebesar 88.34%, rata-rata *end-to-end delay* sebesar 86.26 ms, dan rata-rata waktu konvergensi sebesar 1.292 sekon pada area simulasi seluas 750 m². Sedangkan pada area simulasi 1250 m² kinerja dari RWP lebih unggul daripada RD dengan nilai rata-rata PDR sebesar 84.14%, rata-rata *end-to-end delay* sebesar 123.19 ms, dan rata-rata waktu konvergensi sebesar 1.651 sekon. Pada skenario variasi jumlah *node* didapatkan hasil bahwa semakin tinggi densitas *node* menyebabkan semakin tingginya nilai rata-rata *end-to-end delay* pada kedua model mobilitas dan waktu konvergensi yang dihasilkan semakin menurun. Berbeda dengan PDR saat densitas meningkat menunjukkan nilai yang cenderung menurun pada area simulasi 750 m² tetapi menjadi cenderung meningkat pada area simulasi 1250 m².

3. Pola pergerakan kedua model mobilitas menyebabkan berbanding terbaliknya kinerja yang dihasilkan pada topologi dengan area 750 m² dan 1250 m². Kedua model mobilitas memiliki kelebihan masing-masing dengan RD memiliki kinerja yang lebih baik jika digunakan pada area simulasi yang lebih sempit dan RWP pada area simulasi yang lebih luas. Hal tersebut dikarenakan pola pergerakan kedua model mobilitas yang bertolak belakang. Jika pada area simulasi yang lebih sempit, RD akan meratakan persebaran *node* sehingga jarak antar *node* lebih optimal dan mengurangi resiko *packet loss*. Tetapi pada area lebih luas RD akan menyebabkan jarak antar node semakin jauh dan meningkatkan resiko *packet loss*. Sementara itu, pada area simulasi yang lebih luas, RWP akan memperpendek jarak antar *node* tetapi akan meningkatkan resiko *congestion* karena penumpukan node yang terjadi pada area yang lebih sempit.

7. DAFTAR PUSTAKA

- Bobade, Nilesh P., dan Mhala, Nitiket N. 2012. *Performance Evaluation of AODV and DSR on-Demand Routing Protocols with Varying MANET Size*. International Journal of Wireless & Mobile Network (IJWMN). Volume 4.
- Das, Manoranjan., Sahu, Benudhar., dan Bhanja, Urmila., 2015. *Mobility and its Effect on the Performance of MANET*. IEEE

- Power, Communication and Information Technology Conference (PCITC).
- Kampitaki, Dimitra. dan Economides, Anastasios A., 2014. *Simulation study of MANET protokol routings under FTP traffic*. Conference on Electronics, Telecommunications and Computers – CETC.
- Keerthi., D.S., Chaithanyaranga, H.V. & Shreedevi, P., 2016. *Study and Performance Evaluation of Mobility Models in MANET and WSN*. International Conference on Electrical, Electronics, Communication, Computer and Optimizaton Techniques (ICECCOT).
- Kondaiah, B. Nagendra, Dr. M, 2015. *Black Hole Attack on Performance of AODV Routing Protocol in Manet*. International Journal of Advanced Research in Computer Science and Software Engineering.
- Lakshman, Naik L., Khan, R.U., & Mishra, R.B., 2016. *Analysis of Node Velocity Effects in MANET Routing Protocols using Network Simulator (NS3)*. *International Journal of Computer Applications*.
- Laqtib, Safaa., El Yassini, Khalid., Houmer, Meriem., El Ouadghiri, Moulay Driss. & Hasnaoui, Moulay Lahcen., 2016. *Impact of Mobility Models on Optimized Link State Protokol routing in MANET*. IEEE Network.
- Maan, Fahim. Dan Mazhar, Nauman., 2011. *MANET Routing Protocols vs Mobility Models: A Performance Evaluation*. IEEE Network.
- Maakar, Sunil Kr., Kukerja, Sunita. & Kumar, Sudesh., 2014. *Comparison of Random Based Mobility Model using TCP Traffic for AODV and DSDV MANET's Routing Protocols*. International Journal of Information Technology and Knowledge Management, pp. 180-184.
- Misra, S. 2009. *Guide To Ad Hoc Wireless Network*. Tersedia melalui Google Books <<http://books.google.com>>[Diakses 17 Agustus 2017]
- Nayak, Padmalaya. & Sinha, Pallavishree., 2015. *Analysis of Random Way Point and Random Walk Mobility Model for Reactive Protokol routings for MANET Using NetSim Simulator*. 3rd International Conference on Artificial Intelligence, Modelling and Simulation.
- Patil, Annapurna P., Sambaturu, Narmada., Chunhaviriyakul, Krittaya., 2009., *Convergence Time Evaluation of Algorithms in MANETs*. International Journal of Computer Science and Information Security (IJCSIS).
- Rana, Sandeep., Pundir, Varun., Singh, Ram Sewak. & Yadav, Deepak., 2012., *Congestion Control in Mobile Ad-Hoc Networks*. International Journal of Scientific Research Engineering & Technology (IJSRET).
- Robbins, Arnold D., 2018., *GAWK: Effective AWK Programming*, 4.2 ed. Boston: Free Software Foundation.
- Rohankar, Rashmi., Bhatia, Rinkoo., Shrivastava, Vineet. & Sharma, Deepak Kumar., 2012., *Performance Analysis of Various Routing Protocols (Proactive and Reactive) for Random Mobility Models of Adhoc Networks*. IEEE Network.
- Saadi, Youssef., El Kafhali, Said., Haqiq, Abdelkrim. & Nassereddine Bouchaib., 2012., *Simulation Analysis of Routing Protocols using Manhattan Grid Mobility Model in MANET*. International Journal of Computer Application.