

MENINGKATKAN KINERJA PROTOKOL ROUTING AOMDV UNTUK Mencari RUTE BERDASARKAN PERGERAKAN NODE DAN MENGURANGI BROADCAST STORM DALAM JARINGAN MANET

(IMPROVING THE PERFORMANCE OF AOMDV ROUTING PROTOCOL TO FIND ROUTES
BASED ON NODE MOVEMENT AND REDUCE BROADCAST STORM IN MANET NETWORKS)

Mei Sukriani¹⁾, Andy Hidayat Jatmika²⁾, dan Raphael Bianco Huwae³⁾

^{1, 2, 3)}Program Studi Teknik Informatika, dan Fakultas Teknik Universitas Mataram

Jl. Majapahit No.62, Gomong, Kec. Selaparang, Kota Mataram, Nusa Tenggara Bar. 83115

e-mail: meisukriani2002@email.com¹⁾, andy@staff.unram.ac.id²⁾, Raphael.bianco.huwae@unram.ac.id³⁾

ABSTRAK

Pada penelitian ini, dilakukan pengembangan terhadap protokol routing AOMDV (Ad hoc On-demand Multipath Distance Vector) dalam jaringan Ad Hoc Mobile (MANET) untuk meningkatkan stabilitas rute dan efisiensi komunikasi. Perubahan topologi yang cepat dalam MANET akibat pergerakan node mempengaruhi stabilitas jaringan, karena node dapat terputus dan terhubung kembali berdasarkan jangkauan komunikasi yang bervariasi. AOMDV tradisional tidak secara efektif memperhitungkan mobilitas node, yang menyebabkan rute yang tidak stabil dan pengiriman yang tidak efisien. Penelitian ini bertujuan untuk menyempurnakan protokol AOMDV dengan memodifikasi pendekatannya, khususnya melalui algoritma TimePrediction, yang bertujuan memprediksi pergerakan node dan meningkatkan efisiensi komunikasi secara keseluruhan. Dengan mengintegrasikan posisi dan kecepatan node ke dalam pesan Hello, protokol yang direvisi dapat memilih rute yang lebih stabil, meminimalkan efek buruk dari broadcast storm yang sering disebabkan oleh pesan RREQ yang berlebihan selama routing. Hasil simulasi menunjukkan bahwa TimePrediction AOMDV meningkatkan throughput, PDR, dan menurunkan end-to-end delay dibandingkan AOMDV standar. Pada skenario dengan 50 node dan kecepatan 25 m/s, protokol ini mencapai performa optimal dengan throughput sebesar 1973 kbps, end-to-end delay 150 ms, dan PDR 95%. TimePrediction AOMDV lebih efisien dalam menangani mobilitas node dan mengurangi dampak broadcast storm siaran, sehingga meningkatkan stabilitas dan keandalan komunikasi dalam jaringan MANET.

Kata Kunci: MANET, AOMDV, Pergerakan Node, Broadcast Storm, Prediksi Waktu.

ABSTRACT

In this study, the development of AOMDV (Ad hoc On-demand Multipath Distance Vector) routing protocol in Mobile Ad Hoc Network (MANET) is carried out to improve route stability and communication efficiency. Rapid topology changes in MANET due to node movement affect network stability, because nodes can be disconnected and reconnected based on varying communication range. Traditional AOMDV does not effectively take into account node mobility, which causes unstable routes and inefficient delivery. This study aims to improve the AOMDV protocol by modifying its routing approach, especially through the TimePrediction algorithm, which aims to predict node movement and improve overall communication efficiency. By integrating node position and speed into the Hello message, the revised protocol can choose a more stable route, minimizing the adverse effects of broadcast storms that are often caused by excessive RREQ messages during routing. Simulation results show that TimePrediction AOMDV improves throughput, PDR, and decreases end-to-end delay compared to standard AOMDV. In a scenario with 50 nodes and a speed of 25 m/s, this protocol achieves optimal performance with a throughput of 1973 kbps, an end-to-end delay of 150 ms, and a PDR of 95%. TimePrediction AOMDV is more efficient in handling node mobility and reducing the impact of broadcast storms, thus improving the stability and reliability of communication in MANET networks.

Keywords: MANET, AOMDV, Node Mobility, Broadcast Storm, Time Prediction.

I. PENDAHULUAN

Jaringan *Mobile Ad Hoc Network* (MANET) sangat bergantung pada proses routing untuk mengirimkan data antar perangkat yang bergerak bebas. Topologi pada jaringan MANET terus berubah yang disebabkan pergerakan node ke segala arah, protokol routing harus mampu menyesuaikan diri dengan cepat dalam menemukan jalur terbaik untuk mengirimkan data, mengurangi kemungkinan paket hilang dan meminimalkan waktu pengiriman. Protokol routing memainkan peran penting dalam jaringan MANET karena bertanggung jawab menentukan jalur terbaik bagi pengiriman data antar node yang terus bergerak [1].

Salah satu protokol routing dalam jaringan MANET adalah protokol routing *Ad hoc On-demand Multipath Distance Vector* (AOMDV) yang memiliki sifat reaktif yaitu *route* dibentuk jika ada permintaan. Ketika sebuah node ingin mengirimkan data, AOMDV mengirimkan pesan *Route Request* (RREQ) secara *broadcast* ke seluruh node-node tetangga untuk menemukan *route* ke node tujuan. Node intermediate yang menerima RREQ akan meneruskan paket tersebut ke tetangganya, begitu seterusnya hingga ke node tujuan. Ketika RREQ mencapai tujuan, node tujuan akan mengirimkan paket *Route Reply* (RREP) hingga sampai ke node asal [2].

Ketika mencari *route*, AOMDV tidak mempertimbangkan arah pergerakan node saat mencari *route*, sehingga node yang berpartisipasi dalam *route* yang ditemukan dapat bergerak keluar dari radius komunikasi dan menyebabkan *route* terputus, sementara proses pencarian *route* dengan *broadcast storm* ke semua node tetangga dapat menurunkan kinerja jaringan, termasuk penurunan nilai *throughput* [3]. Pada penelitian [2], penulis menggunakan protokol AOMDV dengan dukungan QoS untuk jaringan MANET. Simulasi dilakukan pada area 1000 m x 1000 m dengan 50-150 node dan kecepatan node hingga 30 m/s. Parameter uji meliputi *throughput*, *PDR*, *end-to-end delay*, dan *routing overhead*. Hasilnya menunjukkan kinerja protokol lebih baik secara keseluruhan untuk jaringan dengan mobilitas tinggi. Pada penelitian [4] juga menggunakan protokol AOMDV pada simulasi MANET dengan jumlah node 100 hingga 200. Parameter uji kinerja meliputi *throughput*, *end-to-end delay*, dan *packet delivery ratio*. Hasilnya menunjukkan bahwa kinerja AOMDV menurun dengan peningkatan jumlah node. Pada penelitian [5] penulis menggunakan protokol routing AOMDV untuk jaringan MANET dengan simulasi menggunakan 30 dan 50 node dalam area 1000 m x 1000 m, dengan kecepatan node 200 m/d. Parameter uji kinerja mencakup *end-to-end delay*, *PDR*, dan *normalized routing load*. Hasilnya menunjukkan

bahwa kinerja jaringan lebih baik menggunakan AOMDV.

Tujuan dari penelitian ini adalah meningkatkan kinerja AOMDV ketika mencari *route* dengan mempertimbangkan pergerakan node, sehingga node-node yang berpartisipasi dalam *route* yang ditemukan adalah node-node yang memiliki waktu pergerakan yang paling lama untuk bergerak menjauh keluar dari radius komunikasi sehingga *route* yang ditemukan memiliki kemungkinan kecil terputus [1]. Selain itu akan mengurangi dampak dari *broadcast storm* karena node-node yang terpilih saja yang akan dikirim paket RREQ. Metode yang dilakukan untuk meningkatkan kinerja AOMDV adalah memodifikasi pesan Hello dengan menambahkan informasi tentang posisi dan kecepatan node tetangga yang digunakan untuk memprediksi waktu yang dibutuhkan node tetangga bergerak menjauh keluar dari radius komunikasi. Algoritma prediksi Waktu akan diterapkan pada kerangka protokol AOMDV standar.

Simulasi jaringan menggunakan tool Network Simulator 2 (NS-2.35) yang diinstal pada sistem operasi Linux Ubuntu versi 14.04 pada virtual mesin virtualbox. Protokol routing AOMDV standar akan dibandingkan dengan protokol routing AOMDV yang telah dimodifikasi. Parameter kinerja jaringan yang diukur adalah *throughput*, *end-to-end delay*, dan *packet delivery ratio* (PDR) [6]. Berdasarkan hasil uji coba pada skenario yang diberikan, protokol routing AOMDV yang dimodifikasi memberikan kinerja yang lebih baik dibandingkan dengan protokol routing standar.

II. STUDI PUSTAKA

Pada penelitian [7], protokol routing yang diterapkan oleh penulis adalah *Optimized Link State Routing* (OLSR) dengan modifikasi yang berbasis pada posisi node, dirancang untuk meningkatkan efisiensi protokol dalam menghadapi mobilitas tinggi pada jaringan. Jaringan uji terdiri dari 30 node yang menggunakan model mobilitas *random waypoint mobility* dalam area simulasi 5000x5000 meter. Pengujian dilakukan menggunakan simulator NS3 dengan parameter seperti kecepatan node yang bervariasi hingga 100 m/s dan ukuran paket 256 byte. Hasilnya menunjukkan bahwa versi OLSR yang dimodifikasi berhasil mengurangi jumlah paket yang hilang dan waktu tunda secara signifikan dibandingkan dengan versi standar, sehingga meningkatkan kualitas layanan dalam jaringan bergerak dengan mobilitas tinggi. Penelitian ini dan penelitian [7] memiliki tujuan yang sama, yaitu meningkatkan kinerja protokol routing pada jaringan. Namun, kedua penelitian ini mengambil pendekatan yang berbeda. Penelitian ini memodifikasi protokol AOMDV dengan algoritma *TimePrediction*,

sedangkan penelitian [7] melakukan modifikasi pada protokol OLSR.

Pada penelitian [6], protokol routing yang diterapkan adalah MEDSR-LET, yang dirancang khusus untuk meningkatkan kinerja jaringan MANET, digunakan 50 node yang bergerak dalam area simulasi 1000x1000 m² dengan kecepatan node bervariasi (30 m/s, 50 m/s, dan 70 m/s). Pengujian dilakukan menggunakan simulator NS-2 dengan parameter kinerja seperti throughput, delay, dan packet delivery ratio (PDR). Hasil penelitian menunjukkan bahwa pada kecepatan node yang tinggi, protokol MEDSR-LET mengalami penurunan throughput (20,48 kbps hingga 19,92 kbps) dan PDR (95,52% hingga 93,71%), serta peningkatan delay (71,77 ms hingga 78,41 ms), yang mengindikasikan kesulitan protokol dalam menjaga stabilitas koneksi pada kondisi mobilitas tinggi. Kedua penelitian ini memiliki tujuan yang sama, yang dimana keduanya berhasil meningkatkan *throughput* dan PDR. Penelitian [6] menggunakan protokol MEDSR-LET, sedangkan penelitian ini memodifikasi AOMDV dengan algoritma *TimePrediction*.

Penelitian ini [8], protokol routing yang diterapkan adalah Dynamic MANET On-Demand (DYMO), yang diimplementasikan dengan menggunakan model pergerakan Random Waypoint (RWP) serta Random Direction (RD) untuk mengoptimalkan kinerja jaringan. Jumlah node yang diuji bervariasi antara 30 hingga 120, dan pengujian dilakukan menggunakan Network Simulator 2.35 dengan skenario seperti penambahan jumlah node, luas area simulasi, dan kecepatan maksimum. Parameter yang diuji meliputi packet delivery ratio (PDR), end-to-end delay, throughput, dan packet loss. Hasilnya menunjukkan bahwa DYMO lebih unggul ketika digunakan dengan model RWP dibandingkan RD, dengan PDR rata-rata RWP sebesar 98,60% dan RD sebesar 96,16%. Hal ini dikarenakan RWP memiliki pola pergerakan yang lebih terkonsentrasi di tengah area, meskipun terdapat risiko penumpukan node, sedangkan RD cenderung menyebabkan jarak antar node lebih besar sehingga meningkatkan risiko packet loss hingga 3,84%. Kedua penelitian ini berkontribusi pada pemahaman kita tentang kinerja protokol routing di lingkungan MANET. Namun, penelitian ini mengambil pendekatan yang lebih proaktif dengan mencoba memprediksi pergerakan node untuk meningkatkan kinerja jaringan, sedangkan penelitian [8] lebih bersifat komparatif dengan membandingkan kinerja protokol di bawah berbagai kondisi mobilitas.

Pada penelitian [9], protokol routing yang diterapkan dalam jaringan MANET (Mobile Adhoc Network) adalah BATMAN dan AODV, yang

dirancang untuk mendukung komunikasi antar node secara dinamis dalam lingkungan jaringan yang bersifat ad-hoc. Jumlah node yang digunakan bervariasi, yaitu 25, 50, dan 100 node, dengan koneksi UDP sebanyak 1, 2, dan 3 serta kecepatan node sebesar 20 m/s dan 50 m/s. Simulasi dilakukan menggunakan OMNET++ 4.6, dan hasilnya dianalisis melalui ANOVA dua arah untuk mengetahui pengaruh variasi skenario terhadap delay. Hasil menunjukkan bahwa protokol BATMAN lebih optimal dalam menangani delay dibandingkan AODV, terutama dalam skenario dengan jumlah koneksi dan kecepatan tinggi. Walaupun kedua penelitian membahas kinerja protokol routing di jaringan MANET, penelitian ini memiliki pendekatan yang lebih spesifik dengan memodifikasi satu protokol tertentu, sedangkan penelitian [9] mengambil pendekatan yang lebih umum dengan membandingkan dua protokol yang berbeda.

Pada penelitian [10], protokol routing yang digunakan yaitu AODV, yang diterapkan untuk mengevaluasi kinerja jaringan MANET dengan fokus pada efektivitas pengiriman data dalam kondisi jaringan yang dinamis. Pengujiannya dilakukan menggunakan emulator Mininet-WiFi dengan konfigurasi sebanyak 10 node. Terdapat dua model mobilitas yaitu Gauss Markov dan Random Direction, digunakan untuk menganalisis pengaruh mobilitas node. Parameter uji kinerja mencakup throughput, latency rata-rata, jitter, dan packet loss, dengan alat pengujian seperti Iperf dan Ping. Hasil menunjukkan bahwa model Gauss Markov meningkatkan kinerja AODV dibandingkan Random Direction. Penelitian ini mengambil pendekatan proaktif dengan memodifikasi protokol untuk meningkatkan kinerja, sedangkan penelitian [10] mengamati bagaimana protokol berperilaku di bawah kondisi yang berbeda.

III. METODOLOGI PENELITIAN

Pada bagian ini akan dijelaskan mengenai metodologi penelitian yang digunakan untuk menganalisis dan meningkatkan kinerja protokol AOMDV (*Ad hoc On-demand Multipath Distance Vector*), termasuk algoritma penemuan *route*, prediksi pergerakan node tetangga, optimasi penggunaan pesan "Hello" serta evaluasi kinerja jaringan berdasarkan parameter-parameter yang telah ditentukan.

Penelitian ini dilakukan melalui beberapa tahapan yang saling terintegrasi untuk mencapai tujuan utama, yaitu meningkatkan kinerja protokol AOMDV dalam jaringan MANET dengan memperhatikan pergerakan node dan mengurangi *broadcast storm*. Alur penelitian ini dapat dijelaskan sebagai berikut:

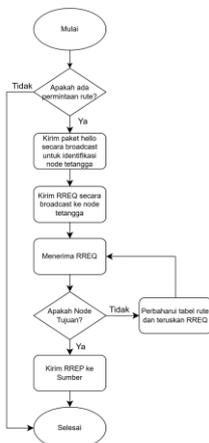
A. Studi Literatur

Studi literatur dalam penelitian ini mencakup referensi terkait jaringan MANET, khususnya perubahan topologi akibat pergerakan node, protokol routing AOMDV, serta optimasi *route* dan reduksi broadcast storm. Selain itu, penelitian ini merujuk pada simulasi jaringan menggunakan NS-2.35, termasuk penggunaan TCL untuk skenario simulasi, C++ untuk modifikasi protokol, dan AWK untuk analisis hasil. Referensi utama diperoleh dari jurnal ilmiah dan publikasi akademik yang membahas implementasi AOMDV dalam berbagai kondisi jaringan.

B. Protokol Ad Hoc-Demand Multipath Distance Vector (AOMDV)

Ad Hoc On-Demand Distance Vector (AOMDV) adalah pengembangan dari AODV yang meningkatkan kinerja MANET dengan menyediakan rute multipath untuk mengurangi kegagalan akibat mobilitas node. Berbeda dengan AODV yang hanya menemukan satu rute optimal, AOMDV menyimpan beberapa rute alternatif, memungkinkan jaringan beralih tanpa menginisiasi ulang Route Request (RREQ). Dengan mekanisme loop-free dan penyimpanan rute dalam tabel routing, AOMDV mempercepat pemulihan koneksi. Keunggulannya mencakup pengurangan overhead routing, peningkatan pada *throughput* dan *Packet Delivery Ratio (PDR)*, serta penurunan *end-to-end delay*. Oleh karena itu, AOMDV banyak digunakan dalam optimasi routing MANET, termasuk pengembangan algoritma AOMDV-PTM yang diusulkan dalam penelitian ini.

Proses alur kerja protokol AOMDV dapat dilihat pada Gambar 3 yang menunjukkan tahapan utama dalam pencarian rute dan pengiriman paket data dalam protokol AOMDV.



Gambar 1. Proses Route Discovery AOMDV Standar

Berdasarkan Gambar 1, proses pencarian *route* pada AOMDV dimulai saat sebuah *node* sumber membutuhkan rute ke tujuan. *Node* ini terlebih dahulu mengirimkan paket Hello secara *broadcast* untuk

mengenalinya *node* tetangga. Selanjutnya, *node* sumber mengirimkan Route Request (RREQ) ke *node* tetangga. Setiap *node* yang menerima RREQ akan mengecek apakah dirinya adalah tujuan. Jika bukan, *node* akan memperbarui tabel rutenya dan meneruskan RREQ ke *node* lain. Jika *node* tujuan menerima RREQ, maka *node* tersebut akan mengirimkan Route Reply (RREP) kembali ke sumber. Proses ini selesai setelah rute berhasil ditemukan.

C. Pesan Hello

Pesan Hello dalam jaringan MANET berfungsi sebagai mekanisme bagi setiap *node* untuk mendeteksi dan memelihara koneksi dengan *node* tetangganya. Pesan ini dikirimkan secara berkala dan berisi identitas pengirim, *timestamp*, TTL, koordinat posisi (X, Y), kecepatan, daftar *node* tetangga, status koneksi, serta interval pengiriman berikutnya. Dengan informasi ini, *node* dapat memperbarui tabel *routing* dan menghindari penggunaan jalur yang sudah tidak *valid*[11]. Namun, jika pesan Hello dikirim terlalu sering, dapat terjadi peningkatan *overhead* komunikasi yang berdampak pada kinerja jaringan.

Dalam protokol AOMDV, setiap *node* mengandalkan pesan Hello untuk mengetahui perubahan topologi dan menentukan rute multipath. Untuk meningkatkan efisiensi, struktur pesan Hello dimodifikasi dengan menambahkan informasi *Node X Position*, *Node Y Position*, dan *Node Speed*. Modifikasi ini memungkinkan setiap *node* untuk memperkirakan waktu tinggalnya dalam jangkauan komunikasi, sehingga pemilihan *route* menjadi lebih stabil dan efektif dalam mengurangi *broadcast storm* [7].

Pada Tabel 1 menunjukkan struktur umum *Hello Message* yang telah dimodifikasi, bagian yang ditandai dengan warna abu-abu merupakan tambahan modifikasi yang dilakukan dalam penelitian ini untuk mendukung PTM, yaitu dengan menambahkan informasi posisi dan kecepatan *node*.

Tabel 1. Struktur Hello Message Modifikasi

Field	Ukuran (Bytes)	Deskripsi
Message Type	1	Menunjukkan jenis pesan (Hello Message, Route Request, Route Reply, dll.).
Message Length	2	Panjang total Hello Message dalam byte.
Sender ID	4	Identitas (IP Address/Node ID) dari <i>node</i> pengirim.
Timestamp	4	Waktu saat Hello Message dikirim.
Time to Live (TTL)	1	Jumlah hop maksimum sebelum pesan dihapus.
Node X Position	4	Koordinat X dari <i>node</i> pengirim
Node Y Position	4	Koordinat Y dari <i>node</i> pengirim
Node Speed	4	Kecepatan <i>node</i> pengirim
Neighbor List	Variabel	Daftar <i>node</i> tetangga yang diketahui.

Link Status	1	Status koneksi dengan node tetangga (aktif/tidak aktif).
Hello Interval	2	Waktu interval pengiriman Hello Message berikutnya.

D. Prediction Time Model (PTM)

Prediction Time Model adalah pendekatan adaptif yang menyesuaikan *interval* pengiriman pesan Hello berdasarkan estimasi waktu sebelum sebuah node keluar dari jangkauan node tetangga. Model ini menggunakan informasi posisi dan kecepatan node untuk menghitung waktu prediksi (T), sehingga pesan Hello hanya dikirim saat diperlukan. Waktu prediksi (T) ditentukan berdasarkan dua parameter utama: jarak (D) antara node pengirim dan penerima serta kecepatan relatif ($V_{Relative}$) antara keduanya. Pendekatan ini membantu mengurangi overhead komunikasi dalam jaringan MANET.

Rumus matematis yang digunakan dalam PTM adalah[7] :

$$D = \sqrt{(X_B - X_A)^2 + (Y_B - Y_A)^2} \quad (1)$$

$$V_{Relative} = \frac{|V_A - V_B|}{D}$$

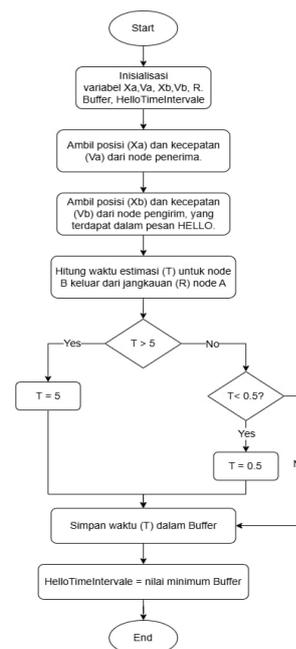
$$T = \frac{D}{V_{Relative}}$$

Sehingga, nilai T diberi batasan sebagai berikut[7] :

$$T = \begin{cases} 5, & \text{jika } T > 5 \\ T, & \text{jika } 0.5 \leq T \leq 5 \\ 0.5, & \text{jika } T < 0.5 \end{cases} \quad (2)$$

Untuk menjaga keseimbangan antara efisiensi komunikasi dan kemampuan jaringan dalam menyelesaikan perubahan topologi, nilai T dalam *Prediction Time Model* dibatasi antara 0.5 hingga 5 detik.

Flowchart berikut menunjukkan proses penentuan *interval* pengiriman pesan Hello berdasarkan prediksi waktu sebelum node keluar dari jangkauan komunikasi.

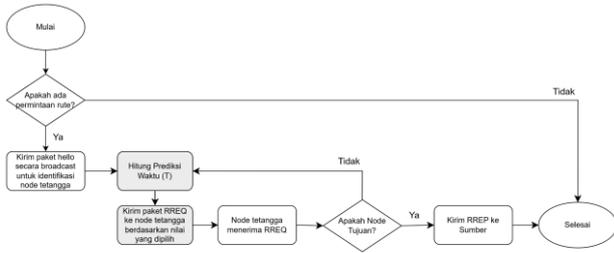


Gambar 2. Flowchart Algoritma Prediction Time Model

Gambar 2 menunjukkan *Flowchart* Algoritma *Prediction Time Model*, yang menghitung nilai T untuk menyesuaikan *interval* pengiriman pesan Hello berdasarkan estimasi waktu sebelum node keluar dari jangkauan komunikasi. Model ini mengoptimalkan efisiensi dengan menyesuaikan frekuensi pengiriman Hello secara dinamis. Jika node bergerak cepat dan keluar dari jangkauan lebih cepat, Hello dikirim lebih sering (T kecil), sedangkan jika node stabil dalam jangkauan, interval diperpanjang (T besar) untuk mengurangi *overhead* komunikasi.

E. Menerapkan Algoritma Prediction Time Model pada Kerangka Protokol Routing AOMDV

Modifikasi protokol AOMDV dengan algoritma *TimePrediction* meningkatkan stabilitas rute dalam MANET dengan menghitung estimasi waktu (T) sebelum node tetangga keluar dari jangkauan. T dihitung berdasarkan posisi dan kecepatan node yang diperoleh dari pesan Hello. Jika T di luar rentang 0,5–5 detik, maka disesuaikan untuk menjaga stabilitas jaringan. Nilai di atas 5 detik diatur menjadi 5 untuk mencegah pembaruan topologi yang terlalu lama. Meskipun $T > 5$ detik menunjukkan node masih dalam jangkauan, itu tidak selalu menjamin stabilitas karena faktor lain seperti interferensi dan perubahan mendadak. Pembatasan ini menjaga keseimbangan antara efisiensi dan keakuratan rute. Nilai minimum T digunakan untuk menentukan interval pengiriman Hello, memungkinkan pemilihan rute dengan koneksi lebih stabil dan adaptif terhadap perubahan topologi jaringan.



Gambar 3. Proses *Route Discovery* AOMDV-PTM

Gambar 3 menunjukkan proses *route discovery* AOMDV-PTM. Pada prosesnya setiap node sumber mengirim Hello untuk mendeteksi node tetangga, lalu menghitung prediksi waktu (T) sebelum mengirim RREQ. Hanya node dengan nilai T yang lebih besar yang menerima RREQ, sehingga jumlah broadcast berkurang. Jika node penerima adalah tujuan, maka RREP dikirim kembali ke sumber. Pendekatan ini meningkatkan stabilitas jalur dan mengurangi broadcast storm dalam MANET.

F. Parameter Kinerja Jaringan

Untuk melakukan penilaian kinerja suatu jaringan dilakukan pengukuran menggunakan tiga parameter, yaitu *throughput*, *end-to-end delay*, dan *packet delivery ratio*. Data-data ini didapatkan dari proses menganalisis file *trace* yang dihasilkan oleh dari program simulasi jaringan menggunakan NS-2 menggunakan bahasa pemrograman AWK.

1) *Throughput*

Throughput digunakan sebagai metrik untuk mengukur volume data yang dapat di transfer melalui jaringan dalam periode waktu tertentu. Semakin cepat kecepatan transfer data pada *throughput* suatu jaringan, maka akan semakin besar kapasitasnya untuk mengirim data dalam waktu yang sama, yang artinya kinerja jaringan akan semakin bagus. Kecepatan transfer data pada *throughput* itu tidak hanya ditentukan dengan kapasitas jaringan saja, tetapi juga dipengaruhi dengan keterlambatan data (latensi) dan kestabilan jaringan [1]. Nilai *throughput* dapat diperoleh dengan menggunakan persamaan di nomor 3, kemudian hasil hitungannya ditulis dalam satuan (Kbps).

$$Throughput = \frac{Jumlah\ data\ yang\ dikirim}{Waktu\ pengiriman} \quad (3)$$

2) *End-to-End Delay*

End-to-end delay digunakan untuk mengukur waktu yang diperlukan oleh sebuah paket data mulai dikirim dari sumber hingga diterima oleh tujuan. Hal ini mencakup keseluruhan waktu untuk pengiriman, penerimaan, dan pengakuan dari pengirim [13].

Nilai *end-to-end delay* yang rendah menunjukkan kinerja protokol yang lebih baik. Untuk nilai *end-to-end delay* dapat diperoleh dengan menggunakan persamaan di nomor 4, kemudian hasil perhitungannya ditulis dalam satuan (s).

$$Delay = \frac{Jumlah\ waktu\ tempuh\ paket}{Jumlah\ paket\ yang\ diterima} \quad (4)$$

3) *Packet Delivery Ratio (PDR)*

PDR digunakan untuk mengukur keberhasilan pengiriman paket data dalam jaringan. Nilai PDR didapatkan dengan melakukan perbandingan jumlah data yang diterima dengan jumlah data yang dikirim. Paket data yang dikirim dapat hilang ataupun rusak selama proses transmisi. Hal ini disebabkan oleh berbagai faktor seperti sinyal yang tabrakan, redaman sinyal, atau jaringan mengalami gangguan. Untuk nilai PDR dapat diperoleh dengan menggunakan persamaan di nomor 5, kemudian hasil perhitungannya ditulis dalam satuan (%). Semakin tinggi nilai PDR, maka akan semakin handal jaringan dalam mengirim data.

$$PDR = \frac{Jumlah\ data\ diterima}{Jumlah\ data\ dikirim} \times 100(\%) \quad (5)$$

IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Parameter Skenario Simulasi

Pada bagian ini menggunakan perangkat lunak simulasi jaringan yang bernama NS-2 versi 35 yang di install pada sistem operasi Linux Ubuntu versi 14. Simulasi dilakukan dengan memvariasikan jumlah node dalam jaringan untuk menganalisis pengaruh kepadatan node. Protokol routing AOMDV (*Ad hoc On-demand Multipath Distance Vector*), dimodifikasi dengan melakukan perubahan modul AOMDV yang sudah ada pada NS-2 menggunakan bahasa pemrograman C++. Simulasi dibuat menggunakan bahasa TCL (*Tool Command Language*) dan dijalankan menggunakan NS-2. Kemudian hasil simulasinya disimpan dalam file (.tr) dan diproses menggunakan AWK untuk menghitung *throughput*, *end to end delay*, dan PDR (*Packet Delivery Ratio*).

Kepadatan node yang digunakan yaitu 50, 75, dan 100. Node- node dalam simulasi ditempatkan secara acak di area 1000x1000 meter persegi dan masing-masing perangkat node dapat bergerak bebas ke segala arah dengan kecepatan 25, 45, 65, dan 85 meter per detik. Durasi simulasi ditetapkan selama 200 detik. Untuk informasi lengkap mengenai parameter skenario simulasi dapat dilihat pada Tabel 2.

Tabel 2. Parameter Skenario Simulasi

Versi Network Simulator	NS-2.35
-------------------------	---------

Jumlah kepadatan node	50, 75, 100
Kecepatan node	25, 45, 65, 85 m/s
Luas area simulasi	1000x1000m ₂
Protokol routing	AOMDV dan AOMDV-PTM
Model Mobilitas	Random Waypoint
Waktu simulasi	200s
Model antena	Omni-directional
MAC protovol	IEEE 802.11
Pola trafik	CBR

B. Hasil Simulasi dan Analisis Grafik

Perbandingan kinerja antara protokol routing *Ad hoc On-demand Multipath Distance Vector* (AOMDV) standar dan yang telah dimodifikasi dilakukan dengan menggunakan parameter uji berupa *throughput*, *packet delivery ratio*, dan *end-to-end delay*. Hasil pengujian kemudian disajikan dalam bentuk grafik.

```
metsukriani@ubuntu:~/TA_Mel/AOMDV-Standar$ ns AOMDV.tcl
num_nodes is set 100
INITIALIZE THE LIST xListHead
Loading connection pattern...
Loading scenario file...
Starting Simulation...
channel.cc:sendUp - Calc highestAntennaZ_ and distcST_
highestAntennaZ_ = 1.5, distcST_ = 550.0
SORTING LISTS ...DONE!
NS EXITING...
metsukriani@ubuntu:~/TA_Mel/AOMDV-Standar$ awk -f throughput.awk aomdv100n.tr
Average Throughput[kbps] = 1497
metsukriani@ubuntu:~/TA_Mel/AOMDV-Standar$
```

Gambar 4. *Throughput* AOMDV 100 Node

```
metsukriani@ubuntu:~/TA_Mel/AOMDV-PTM$ ns AOMDV-PTM.tcl
num_nodes is set 100
INITIALIZE THE LIST xListHead
Loading connection pattern...
Loading scenario file...
Starting Simulation...
channel.cc:sendUp - Calc highestAntennaZ_ and distcST_
highestAntennaZ_ = 1.5, distcST_ = 550.0
SORTING LISTS ...DONE!
NS EXITING...
metsukriani@ubuntu:~/TA_Mel/AOMDV-PTM$ awk -f throughput-ptn.awk aomdv-ptn100n.tr
Average Throughput[kbps] = 1721
metsukriani@ubuntu:~/TA_Mel/AOMDV-PTM$
```

Gambar 5. *Throughput* AOMDV-PTM 100 Node

Pada Gambar 4 dan 5 merupakan hasil uji coba simulasi menunjukkan perbandingan kinerja antara protokol AOMDV Standar dan AOMDV-PTM dengan jumlah node sebanyak 100. Parameter yang diukur adalah *throughput*, di mana AOMDV Standar mencatatkan nilai sebesar 1497, sedangkan AOMDV yang telah dimodifikasi mencapai 1721 pada kecepatan 25 m/s.

```
metsukriani@ubuntu:~/TA_Mel/AOMDV-Standar$ ns AOMDV.tcl
num_nodes is set 100
INITIALIZE THE LIST xListHead
Loading connection pattern...
Loading scenario file...
Starting Simulation...
channel.cc:sendUp - Calc highestAntennaZ_ and distcST_
highestAntennaZ_ = 1.5, distcST_ = 550.0
SORTING LISTS ...DONE!
NS EXITING...
metsukriani@ubuntu:~/TA_Mel/AOMDV-Standar$ awk -f delay-pdr.awk aomdv100n.tr
Average Delay : 570
metsukriani@ubuntu:~/TA_Mel/AOMDV-Standar$
```

Gambar 6. *End-to-End Delay* AOMDV 100 Node

```
metsukriani@ubuntu:~/TA_Mel/AOMDV-PTM$ ns AOMDV-PTM.tcl
num_nodes is set 100
INITIALIZE THE LIST xListHead
Loading connection pattern...
Loading scenario file...
Starting Simulation...
channel.cc:sendUp - Calc highestAntennaZ_ and distcST_
highestAntennaZ_ = 1.5, distcST_ = 550.0
SORTING LISTS ...DONE!
NS EXITING...
metsukriani@ubuntu:~/TA_Mel/AOMDV-PTM$ awk -f delay-pdr-ptn.awk aomdv-ptn100n.tr
Average Delay : 522
metsukriani@ubuntu:~/TA_Mel/AOMDV-PTM$
```

Gambar 7. *End-to-End Delay* AOMDV-PTM 100 Node

Pada Gambar 6 dan 7 merupakan hasil uji simulasi untuk protokol AOMDV Standar dan AOMDV-PTM dengan jumlah 100 node, di mana parameter yang

diukur adalah *end-to-end delay*. Pada kecepatan 25 m/s, protokol AOMDV Standar menghasilkan *delay* sebesar 570 m/s, sedangkan AOMDV-PTM menunjukkan nilai *delay* yang lebih rendah, yaitu 522 m/s. da kecepatan 25 m/s.

```
metsukriani@ubuntu:~/TA_Mel/AOMDV-Standar$ ns AOMDV.tcl
num_nodes is set 100
INITIALIZE THE LIST xListHead
Loading connection pattern...
Loading scenario file...
Starting Simulation...
channel.cc:sendUp - Calc highestAntennaZ_ and distcST_
highestAntennaZ_ = 1.5, distcST_ = 550.0
SORTING LISTS ...DONE!
NS EXITING...
metsukriani@ubuntu:~/TA_Mel/AOMDV-Standar$ awk -f delay-pdr.awk aomdv100n.tr
Packet Delivery Ratio : 74%
metsukriani@ubuntu:~/TA_Mel/AOMDV-Standar$
```

Gambar 8. *Packet Delivery Ratio* AOMDV 100 Node

```
metsukriani@ubuntu:~/TA_Mel/AOMDV-PTM$ ns AOMDV-PTM.tcl
num_nodes is set 100
INITIALIZE THE LIST xListHead
Loading connection pattern...
Loading scenario file...
Starting Simulation...
channel.cc:sendUp - Calc highestAntennaZ_ and distcST_
highestAntennaZ_ = 1.5, distcST_ = 550.0
SORTING LISTS ...DONE!
NS EXITING...
metsukriani@ubuntu:~/TA_Mel/AOMDV-PTM$ awk -f delay-pdr-ptn.awk aomdv-ptn100n.tr
Packet Delivery Ratio : 83%
metsukriani@ubuntu:~/TA_Mel/AOMDV-PTM$
```

Gambar 9. *Packet Delivery Ratio* AOMDV-PTM 100 Node

Pada Gambar 8 dan 9 merupakan hasil uji simulasi untuk protokol AOMDV Standar dan AOMDV-PTM dengan jumlah 100 node, di mana parameter yang diukur adalah *Packet Delivery Ratio* (PDR). Pada kecepatan 25 m/s, protokol AOMDV Standar mencapai PDR sebesar 74%, sedangkan AOMDV-PTM menunjukkan nilai PDR yang lebih tinggi, yaitu 83%.

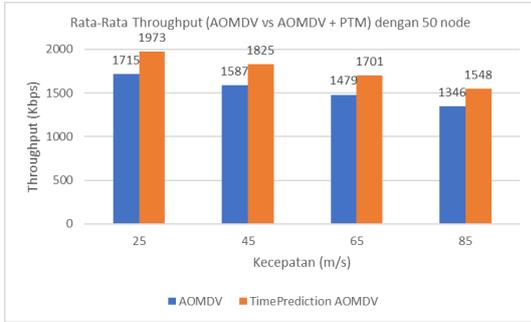
Pada Tabel 3 ditampilkan hasil rata-rata dari tiga kali uji coba simulasi untuk berbagai skenario jumlah node dan kecepatan pergerakan node. Parameter yang diukur mencakup *throughput*, *end-to-end delay*, dan *Packet Delivery Ratio* (PDR) yang berguna untuk membandingkan performa protokol AOMDV standar dan APMDV-PTM.

Tabel 3. Hasil Uji Coba Rata-Rata Simulasi

Node	Kecepatan	Throughput (kbps)		End-to-End Delay (ms)		PDR (%)	
		AOMDV	AOMDV-PTM	AOMDV	AOMDV-PTM	AOMDV	AOMDV-PTM
50node	25 m/s	1715	1973	171	150	91	95
	45 m/s	1587	1825	221	199	87	93
	65 m/s	1479	1701	272	249	85	91
75node	85 m/s	1346	1548	293	278	82	88
	25 m/s	1575	1811	310	290	85	89
	45 m/s	1464	1683	369	336	81	86
100node	65 m/s	1376	1582	411	381	76	83
	85 m/s	1240	1426	447	422	72	77
	25 m/s	1463	1682	570	521	73	82
	45 m/s	1330	1530	661	588	70	77
	65 m/s	1237	1423	750	691	64	72
	85 m/s	1115	1283	863	791	60	68

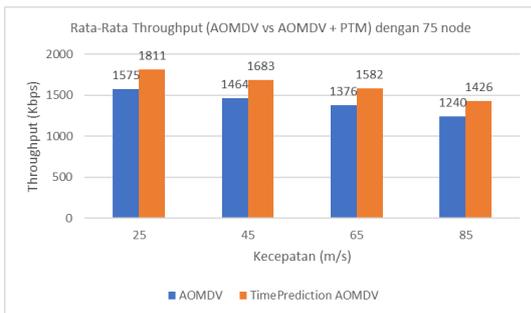
Berikut ini disajikan grafik rata-rata hasil simulasi yang menunjukkan dampak kepadatan node 50, 75, dan 100, serta kecepatan 25, 45, 65, dan 85 m/s dalam area 1000x1000 meter persegi terhadap kinerja protokol AOMDV standar dan AOMDV-PTM, berdasarkan parameter *throughput*, *end-to-end delay*, dan *Packet Delivery Ratio* (PDR).

1) *Throughput*



Gambar 10. Grafik Rata-Rata *Throughput* 50 Node

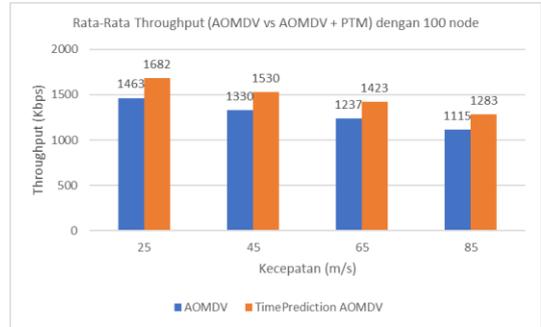
Pada Gambar 10, menunjukkan rata-rata grafik *throughput* yang dihasilkan oleh protokol routing AOMDV-PTM lebih tinggi dibandingkan dengan AOMDV standar seiring dengan peningkatan kecepatan nodenya. Pada kecepatan 25, 45, 65, dan 85 m/s dengan jumlah node sebanyak 50. Kecepatan node yang tinggi akan menyebabkan perubahan topologi yang lebih sering, yang dimana itu dapat meningkatkan *overhead* pemeliharaan jalur. Tetapi dalam hal ini AOMDV-PTM berhasil mengurangi pemborosan *bandwith*, sehingga dapat mempertahankan *throughput* yang lebih baik. *Throughput* meningkat sebesar 15.05%, 15%, 15.02%, dan 15.02 secara berurutan.



Gambar 11. Rata-Rata Grafik *Throughput* 75 Node

Pada Gambar 11, rata-rata grafik *throughput* dihasilkan oleh protokol routing AOMDV-PTM lebih tinggi dibandingkan dengan AOMDV standar seiring dengan peningkatan kecepatan nodenya. Pada kecepatan 25-85 m/s dengan jumlah node sebanyak 75, terlihat bahwa AOMDV tetap mampu meningkatkan *throughput* dibandingkan AOMDV standar. Kecepatan node yang tinggi menyebabkan perubahan topologi yang lebih sering, yang dapat meningkatkan *overhead* pemeliharaan jalur. Namun, dalam hal ini, AOMDV-PTM berhasil mengurangi

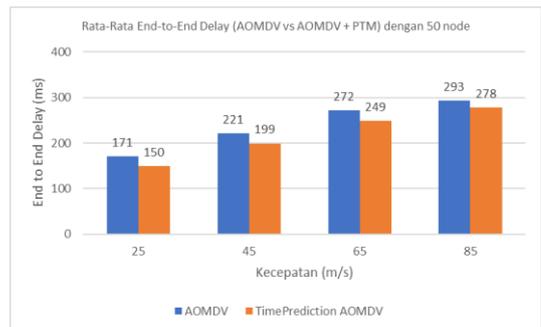
pemborosan *bandwidth*, sehingga dapat mempertahankan *throughput* yang lebih baik. *Throughput* meningkat sebesar 14.98%, 14.96%, 14.97%, dan 15% secara berurutan.



Gambar 12. Rata-Rata Grafik *Throughput* 100 Node

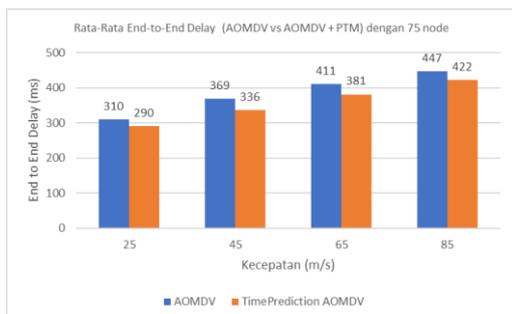
Pada Gambar 12, rata-rata grafik *throughput* dihasilkan oleh protokol routing AOMDV-PTM lebih tinggi dibandingkan dengan AOMDV standar seiring dengan peningkatan kecepatan nodenya. Pada kecepatan 25-85 m/s dengan jumlah node sebanyak 100, terlihat bahwa AOMDV tetap mampu meningkatkan *throughput* dibandingkan AOMDV standar. Semakin tinggi kecepatan node, perubahan topologi jaringan menjadi lebih dinamis, yang dapat meningkatkan beban pemeliharaan jalur. Namun, AOMDV-PTM mampu mengelola *bandwidth* dengan lebih efisien, sehingga dapat menjaga *throughput* tetap optimal dibandingkan dengan AOMDV standar. *Throughput* meningkat sebesar 14.97%, 15.04%, 15.04%, dan 15.07% secara berurutan.

2) *End to End Delay*



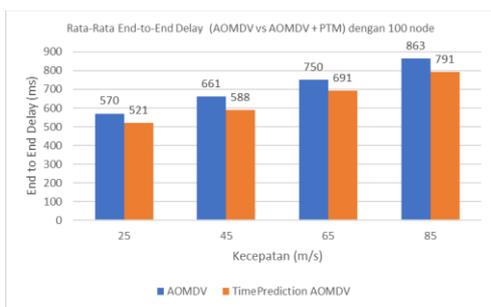
Gambar 13. Rata-Rata Grafik *End to End Delay* 50 Node

Pada Gambar 13, rata-rata grafik *end-to-end delay* dihasilkan oleh protokol AOMDV-PTM untuk 50 node lebih rendah dibandingkan dengan AOMDV standar. Pada kecepatan 25, 45, 65, dan 85 m/s, AOMDV-PTM menunjukkan bahwa penurunan *delay* yang konsisten, yang dimana dengan terjadinya .penurunan masing-masing sebesar 12.28%, 9.95%, 8.46%, dan 5.12%. Hal ini menunjukkan efisiensi *TimePrediction* AOMDV dalam mengurangi waktu pengiriman data.



Gambar 14. Rata-Rata Grafik *End to End Delay* 75 Node

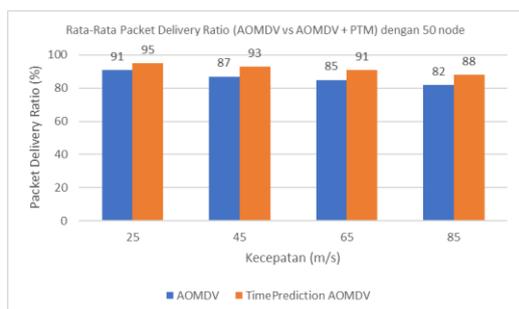
Pada Gambar 14, rata-rata grafik *end-to-end delay* yang menggunakan node sebanyak 75 bahwa AOMDV-PTM menunjukkan bahwa penurunan *delay* dibandingkan AOMDV standar pada semua kecepatannya (25 sampai 85 m/s). Penurunan *delay* tercatat masing-masing sebesar 6.45%, 8.94%, 7.30%, dan 5.59% secara berurutan. Hal ini menunjukkan bahwa AOMDV-PTM dalam mengelola gangguan dan tabrakan paket data dengan baik.



Gambar 15. Rata-Rata Grafik *End to End Delay* 100 Node

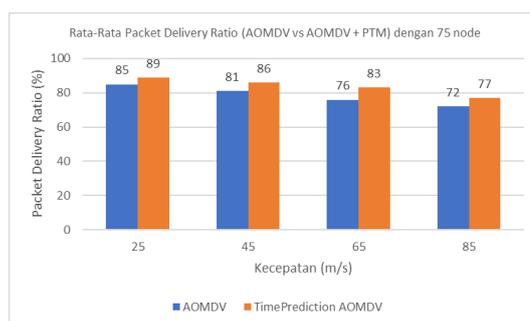
Pada Gambar 15, rata-rata grafik *end-to-end delay* dengan 100 node menunjukkan bahwa AOMDV-PTM berhasil mengurangi *delay*. Meskipun lebih banyak node biasanya meningkatkan *delay*, AOMDV-PTM mampu meminimalkan dampaknya. Penurunan *delay* pada kecepatan 25 hingga 85 m/s tercatat sebesar 8.60%, 11.05%, 7.87%, dan 8.34%, menunjukkan kinerjanya yang lebih baik dalam mengelola keterlambatan.

3) *Packet Delivery Ratio (PDR)*



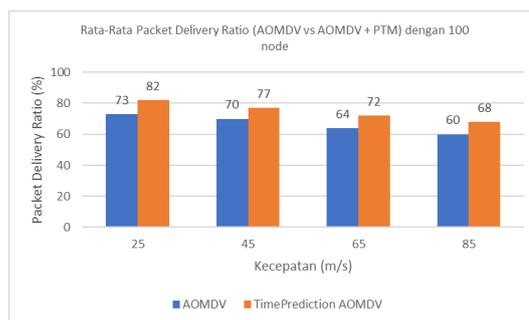
Gambar 16. Rata-Rata Grafik *Packet Delivery Ratio* 50 Node

Pada Gambar 16, rata-rata grafik *Packet Delivery Ratio (PDR)* pada protokol routing AOMDV-PTM untuk node sebanyak 50 lebih meningkat dibandingkan dengan AOMDV standar. Pada kecepatan 25, 45, 65, dan 85 m/s, PDR meningkat masing-masing sebesar 4.40%, 6.90%, 7.06%, dan 7.32%. Hal ini menunjukkan bahwa AOMDV-PTM dapat meningkatkan keberhasilan pengiriman paket data dibandingkan AOMDV standar.



Gambar 17. Rata-Rata Grafik *Packet Delivery Ratio* 75 Node

Pada Gambar 17, rata-rata *Packet Delivery Ratio (PDR)* pada protokol routing AOMDV-PTM dengan 50 node menunjukkan peningkatan dibandingkan AOMDV standar. Pada kecepatan 25, 45, 65, dan 85 m/s, PDR meningkat masing-masing sebesar 4.71%, 6.17%, 9.21%, dan 6.94%. Hal ini menunjukkan bahwa AOMDV-PTM dapat meningkatkan keberhasilan pengiriman paket data dibandingkan AOMDV standar.



Gambar 18. Rata-Rata Grafik *Packet Delivery Ratio* 100 Node

Pada Gambar 18, rata-rata grafik *Packet Delivery Ratio (PDR)* yang menggunakan 100 node pada protokol AOMDV-PTM dengan 100 node menunjukkan peningkatan dibandingkan AOMDV standar di semua kecepatan. Meskipun kepadatan jaringan yang lebih tinggi biasanya menurunkan PDR, AOMDV-PTM mampu mengurangi dampak tersebut. Peningkatan PDR pada kecepatan 25, 45, 65, dan 85 m/s tercatat masing-masing sebesar 12,33%, 10%, 12,5%, dan 13,33%, menunjukkan

kemampuannya dalam meningkatkan keberhasilan pengiriman paket data.

[5]

V. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil pengujian dari skenario simulasi jaringan yang telah dilakukan, dapat diperoleh kesimpulan sebagai berikut:

1. Pada skenario kepadatan 50 node dengan kecepatan awal 25 m/s, protokol routing AOMDV-PTM mencapai *throughput* terbaik dibandingkan AOMDV standar. Namun, berdasarkan tren pada grafik, terdapat kemungkinan bahwa pada kepadatan yang lebih tinggi, perbedaan *throughput* antara kedua protokol akan mengecil atau bahkan bertemu pada titik tertentu. Hal ini menunjukkan bahwa efektivitas AOMDV-PTM dalam meningkatkan *throughput* memiliki batas tertentu yang belum diuji lebih lanjut.
2. AOMDV-PTM menunjukkan peningkatan PDR dibandingkan AOMDV standar dalam berbagai skenario kepadatan dan kecepatan node. Peningkatan ini terlihat signifikan pada kepadatan 50 node dengan kecepatan awal 25 m/s. Namun, serupa dengan *throughput*, ada kemungkinan bahwa pada skenario tertentu, efektivitas AOMDV-PTM dalam meningkatkan PDR dapat menurun atau mencapai titik temu dengan AOMDV standar.. [11]
3. AOMDV-PTM mencatatkan *end-to-end delay* yang lebih rendah dibandingkan AOMDV standar, terutama pada kepadatan 50 node dengan kecepatan awal 25 m/s. Tren grafik menunjukkan bahwa *delay* semakin turun seiring peningkatan kepadatan dan kecepatan, yang merupakan indikasi bahwa AOMDV-PTM lebih efisien dalam mengurangi *delay* dibandingkan AOMDV standar. Namun, perlu dilakukan analisis lebih lanjut apakah ada skenario tertentu di mana PTM justru memberikan hasil yang kurang optimal.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Arjun and M. Kaur, "Routing Protocols in MANET: A Review," in *2023 2nd International Conference on Smart Technologies for Smart Nation, SmartTechCon 2023*, Institute of Electrical and Electronics Engineers Inc., 2023, pp. 1456–1461. doi: 10.1109/SmartTechCon57526.2023.10391755.
- [2] Z. Chen, W. Zhou, S. Wu, and L. Cheng, "An Adaptive on-Demand Multipath Routing Protocol with QoS Support for High-Speed MANET," *IEEE Access*, vol. 8, pp. 44760–44773, 2020, doi: 10.1109/ACCESS.2020.2978582.
- [3] S. A. Sekarrizky, R. A. Siregar, and R. Primananda, "Algoritma Fuzzy Inference System sebagai Mitigasi Broadcast Storm pada Protokol Ad-Hoc On Demand Distance Vector (AODV)," 2021. [Online]. Available: <http://j-ptiik.ub.ac.id>
- [4] G. N, "Performance Evaluation of Multipath Routing Protocol (AOMDV) In Mobile Ad Hoc Networks,"

European Alliance for Innovation n.o., Jan. 2022. doi: 10.4108/eai.7-12-2021.2314973.

- A. Wijayanto, A. J. T. Segara, and F. D. Adhinata, "Perancangan Mobile Ad-Hoc Network Menggunakan Optimasi Routing AOMDV," *JURNAL MEDIA INFORMATIKA BUDIDARMA*, vol. 5, no. 4, p. 1605, Oct. 2021, doi: 10.30865/mib.v5i4.3352.
- A. H. Jatmika, N. Alamsyah, and R. B. Huwae, "DAMPAK VARIASI KECEPATAN NODE TERHADAP PROTOKOL ROUTING MEDSR-LET PADA JARINGAN MANET (Node Speed Variations Effect on MEDSR-LET Routing Protocol in Mobile Ad hoc Networks)." [Online]. Available: <http://jtika.if.unram.ac.id/index.php/JTIKA/>
- H. Berradi, A. Habbani, N. Mouchfiq, and M. Souidi, "Improvement of olsr protocol using the hello message scheme based on neighbors mobility," *Journal of Communications*, vol. 15, no. 7, pp. 551–557, Jul. 2020, doi: 10.12720/jcm.15.7.551-557.
- M. W. Anjani and H. Nurwarsito, "Pengaruh Pergerakan Node Pada Protokol Routing Dynamic Manet On Demand (DYMO) Dalam Mobile Ad-Hoc Network (MANET)," 2021. [Online]. Available: <http://j-ptiik.ub.ac.id>
- D. T. Nugrahadi, M. R. Faisal, L. Triyasmono, and M. Janawi, "Dampak dari Parameter Variasi Koneksi, Node dan Kecepatan Node Terhadap Delay pada Routing Protocol AODV dan BATMAN Jaringan MANET," *jurnal komputasi*, vol. 8, no. 2, Oct. 2020, doi: 10.23960/komputasi.v8i2.2675.
- K. Mohammad, M. Uddin, N. Islam, and J. Akhtar, "Implementing AODV Routing Protocol in VANET using SDN," 2020.
- A. Banerjee, A. Sufian, P. Dutta, and M. M. H. Rahman, "Minus HELLO: HELLO Devoid Protocols for Energy Preservation in Mobile Ad Hoc Networks," Oct. 2019, [Online]. Available: <http://arxiv.org/abs/1910.11916>
- D. K. Sharma and N. Goenka, "AN EFFECTIVE CONTROL OF HELLO PROCESS FOR ROUTING PROTOCOL IN MANETS," *International Journal of Computer Networks and Communications*, vol. 13, no. 5, pp. 37–56, Sep. 2021, doi: 10.5121/ijenc.2021.13503.
- A. Hidayat Jatmika, R. Bianco Huwae, and S. Ika Murpratiwi, "MENGURANGI TABRAKAN SINYAL DI JARINGAN MANET DENGAN METODE DPT PADA PROTOKOL ROUTING FSR (Reducing Signal Collisions in MANET using DPT Algorithm on FSR Routing Protocol)." [Online]. Available: <http://jtika.if.unram.ac.id/index.php/JTIKA/>