

ANALISIS PERBANDINGAN KONSUMSI ENERGI PADA PROTOKOL ROUTING PA-AOMDV DAN AOMDV STANDAR DI JARINGAN MANET

(Comparison Energy Consumption Analysis of PA-AOMDV and Standard AOMDV Routing Protocol in MANET)

Andy Hidayat Jatmika, Noor Alamsyah*, Raphael Bianco Huwae

Dept. Informatics Engineering, University of Mataram

Jl. Majapahit 62, Mataram, Lombok NTB, INDONESIA

Email: [andy, nooralamsyah, raphael.bianco.huwae]@unram.ac.id

Abstract

Penelitian ini bertujuan untuk melakukan analisis perbandingan konsumsi energi protokol routing Path Aware - Ad hoc On-Demand Multipath Distance Vector (PA-AOMDV) dan AOMDV standar pada jaringan Mobile Ad hoc Network (MANET). Penelitian dilakukan untuk mengetahui perbedaan konsumsi energi antara kedua protokol routing tersebut dan menentukan protokol routing mana yang lebih efisien dalam penggunaan energi di situasi tertentu. Penelitian ini menggunakan network simulator NS-2 untuk mensimulasikan jaringan dengan parameter skenario simulasi yang telah ditentukan kemudian membandingkan konsumsi energi dari kedua protokol routing tersebut. Data yang dihasilkan dari simulasi kemudian dianalisis dan dibandingkan untuk menentukan protokol routing yang lebih efisien dalam penggunaan energi pada jaringan MANET. Hasil dari penelitian ini menunjukkan bahwa protokol routing PA-AOMDV memiliki konsumsi energi yang lebih rendah dibandingkan dengan AOMDV standar pada skenario jumlah node 50 dan 100. Namun, pada skenario jumlah node 25, perbandingan konsumsi energi kedua protokol routing tersebut tidak terlalu signifikan. Oleh karena itu, untuk topologi jaringan dengan jumlah node yang sangat banyak dengan network area yang luas, penggunaan protokol routing PA-AOMDV lebih disarankan untuk menghemat konsumsi energi.

Keywords: Node energy, path shortcut, PA-SHORT, AOMDV, MANET

*Penulis Korespondensi

1. PENDAHULUAN

Saat ini perkembangan teknologi semakin berkembang pesat khususnya pada perangkat-perangkat bergerak. Salah satu teknologi yang dapat digunakan pada perangkat bergerak agar dapat saling berkomunikasi adalah dengan menggunakan teknologi jaringan MANET. Pada jaringan MANET, perangkat-perangkat bergerak tersebut adalah sekumpulan node yang bergerak bebas ke segala arah yang dapat berkomunikasi satu dengan yang lain tanpa membutuhkan adanya infrastruktur jaringan [1].

Ketika suatu node sumber ingin mengirim data ke node tujuan, diperlukan sebuah proses routing. Routing merupakan proses mencari rute dari node sumber ke node tujuan sebelum pengiriman data dilakukan. Proses routing ini dilakukan oleh sebuah protokol routing. Dalam jaringan MANET terdapat 3 (tiga) klasifikasi protokol routing, yaitu protokol routing yang bersifat reaktif, proaktif, dan hybrid [2]. Protokol routing yang bersifat reaktif memiliki arti bahwa rute terbentuk ketika ada permintaan rute dari node sumber. Jika menggunakan protokol routing yang

bersifat reaktif, node sumber yang hendak mengirim data, di dalam tabel routingnya belum memiliki informasi mengenai rute yang akan digunakan. Jika menggunakan protokol routing yang bersifat proaktif, node akan memiliki tabel routing yang konvergen dan telah berisi rute-rute ke semua node, hal ini dikarenakan bahwa sifat proaktif berbasis *table-driven*. Protokol routing yang bersifat proaktif akan selalu melakukan *update* pada tabel routingnya jika ada perubahan topologi pada jaringan. Protokol routing yang memiliki sifat hybrid mengandung arti bahwa protokol routing tersebut bekerja secara reaktif dan proaktif dimana protokol routing akan menggunakan sifat proaktif terlebih dahulu untuk menemukan rute di zona dalam area komunikasinya, jika tidak ditemukan rute maka akan dicari ke luar zona area komunikasi menggunakan sifat reaktif, begitu seterusnya hingga rute ditemukan sampai ke node tujuan.

Peran protokol routing sangatlah penting karena bertanggung jawab untuk menentukan rute yang optimal untuk mengirimkan paket data dari satu node ke node tujuan. Protokol routing harus mampu

mengadaptasi perubahan topologi jaringan dan menentukan rute yang optimal dengan menggunakan sumber daya yang tersedia secara efisien. Protokol routing juga berperan dalam mengelola sumber daya yang terbatas pada setiap node, seperti energi (daya baterai) dan kapasitas memori [3]. Protokol routing yang efisien dapat membantu menghemat penggunaan sumber daya dan meningkatkan umur baterai pada setiap node. Protokol routing yang efisien dapat membantu meningkatkan efisiensi penggunaan sumber daya, mengurangi latensi, dan meningkatkan *throughput* pada jaringan MANET. Oleh karena itu, pemilihan dan pengembangan protokol routing yang tepat sangat penting dalam membangun jaringan MANET yang handal dan efisien.

Ad Hoc On Demand Distance Vector (AOMDV) adalah salah satu protokol routing yang digunakan pada jaringan MANET yang memiliki sifat reaktif yang artinya rute dicari ketika ada permintaan rute. Proses pencarian rute pada AOMDV melibatkan dua jenis pesan yaitu *Route Request* (RREQ) dan *Route Reply* (RREP). AOMDV menggunakan metrik hop-count sebagai routing metric-nya. Routing Metric pada protokol AOMDV digunakan untuk menentukan kualitas rute yang tersedia dalam jaringan MANET. Routing metric ini juga digunakan oleh AOMDV untuk memilih rute terbaik yang dapat digunakan untuk mengirimkan paket data antara node asal dan tujuan. Metrik hop-count menghitung jumlah node yang harus dilewati untuk mencapai tujuan. Semakin sedikit hop atau node yang dilewati, maka rute tersebut dianggap lebih baik dan dipilih sebagai rute terbaik [4].

Pemilihan jumlah hop count sebagai *routing* metric masih dianggap belum optimal pada penelitian yang pernah dilakukan [5][6] yaitu ketika terdapat sebuah node yang bergerak masuk ke dalam area komunikasi dan node tersebut dapat menjadi penghubung langsung ke node lain tanpa melibatkan node sebelumnya yang menjadi penghubung ke node lain tersebut. Node penghubung yang sebelumnya dapat dihilangkan menggunakan algoritma PA-SHORT sehingga akan terbentuk jalan pintas (*shortcut*) ke node berikutnya tanpa melibatkan node sebelumnya.

Namun, penggunaan algoritma PA-SHORT pada penelitian [5] terkait konsumsi energi belum dilakukan, sehingga belum diketahui efisiensi energi yang dikonsumsi oleh protokol routing PA-AOMDV dibanding dengan protokol routing AOMDV Standar pada skenario uji yang sama.

Penelitian ini bertujuan melakukan analisis penggunaan energi sebuah node ketika menggunakan protokol PA-AOMDV dalam pencarian rute pada

sebuah skenario uji coba yang diberikan. Hal ini dikarenakan setiap node yang terhubung ke jaringan memerlukan daya untuk beroperasi. Kegagalan node yang terjadi akibat kehabisan energi dapat menyebabkan putusnya rute pada jaringan. Hal ini tentu saja dapat mengganggu aliran data dan mengurangi efisiensi jaringan secara keseluruhan yaitu *Quality of Service* (QoS). Hasil uji coba penggunaan energi pada protokol routing PA-AOMDV akan dibandingkan dengan protokol routing AOMDV standar untuk melihat apakah pengimplementasian algoritma PA-SHORT pada kerangka protokol routing AOMDV cukup efisien jika dilihat dari sisi penggunaan energi. Simulasi jaringan menggunakan tool Network Simulator 2 (NS-2) versi 2.35 yang diinstal pada sistem operasi Linux Ubuntu 14.04 LTS yang berjalan pada virtual mesin VirtualBox.

2. TINJAUAN PUSTAKA

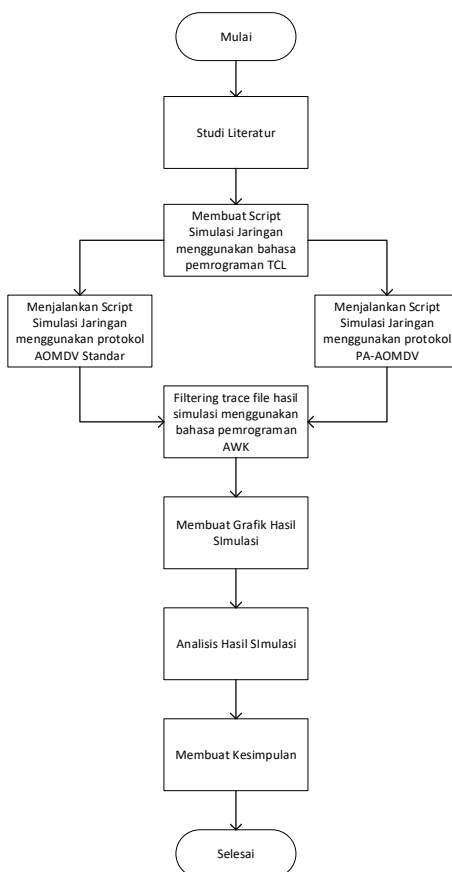
Pada penelitian [5] pernah dilakukan modifikasi terhadap protokol routing AOMDV menggunakan algoritma Path Aware (PA) SHORT. Modifikasi dilakukan untuk mengurangi jumlah hop pada protokol routing AOMDV standar, karena AOMDV memilih rute berdasarkan jumlah hop yang paling sedikit. Uji coba dilakukan dengan skenario variasi jumlah node 50 dan 100 node, variasi kecepatan 1 m/s, 5 m/s, dan 10 m/s, variasi pause time 45, 90, dan 180 detik, serta variasi luas area sebesar 500x500 m² dan 1000x1000 m². Hasil penelitian membuktikan bahwa protokol routing PA-AOMDV memberikan nilai *throughput* yang lebih baik, nilai *end-to-end delay* yang lebih rendah, nilai PDR yang lebih tinggi, dan nilai *routing overhead* yang lebih rendah. Dari hasil tersebut dapat diambil kesimpulan bahwa bahwa PA-AOMDV memiliki kinerja yang lebih baik dari AOMDV standar tanpa modifikasi. Penelitian [7] juga melakukan modifikasi terhadap protokol routing AODV untuk mengurangi jumlah hop menggunakan algoritma PA-SHORT. Dari hasil penelitian tersebut jika dibandingkan dengan AODV standar menunjukkan bahwa PA-AODV memberikan nilai PDR yang lebih baik, nilai *delay* yang lebih rendah, dan nilai *routing overhead* yang juga rendah. Penelitian [8] juga melakukan hal yang sama yaitu mengimplementasikan algoritma PA-SHORT pada kerangka protokol routing Dynamic Source Routing (DSR) untuk mengurangi jumlah hop ketika proses *routing*. Pada penelitian ini dilakukan 2 (dua) skenario uji coba. Hasil penelitian menunjukkan uji coba skenario I nilai optimum AVG untuk 50 node 0.002 m/s dan 100 node 0.0051 m/s. Nilai optimum NRL untuk 50 node 0.026 dan 100 node 0.0136. Nilai optimum PDR untuk

50 node 78.5801% dan 100 node 81.7333%. Sedangkan hasil uji coba skenario II nilai optimum AVG untuk 50 node 0.0004m/s dan 100 node 0.0007m/s. Nilai optimum NRL untuk 50 node 0.0112 dan 100 node 0.0058. Nilai optimum PDR untuk 50 node 85.6523% dan 100 node 98.9327%. Simulasi uji coba menggunakan Network Simulator 2.30.

Penelitian [5], [7], dan [8] dilakukan dengan tujuan hanya mengurangi jumlah hop tanpa memperhatikan jumlah energi yang dimiliki oleh node-node yang berpartisipasi pada rute yang telah ditemukan. Pada penelitian ini akan dilakukan analisis konsumsi energi terhadap protokol routing PA-AOMDV dari skenario uji coba yang diberikan.

3. METODE PENELITIAN

3.1 Diagram Alir Penelitian



Gambar 1. Diagram alir penelitian

Gambar 1 merupakan diagram alir yang digunakan pada penelitian ini yang diawali dengan studi literatur yaitu membaca paper-paper yang berasal dari jurnal nasional maupun internasional untuk menggali informasi dan permasalahan yang akan

diangkat. Langkah berikutnya adalah membuat script simulasi jaringan dengan skenario dan parameter uji yang telah ditentukan menggunakan bahasa pemrograman *Tool Command Language* (TCL). Setelah membuat script simulasi, Langkah berikutnya menjalankan script simulasi yang telah dibuat dengan menggunakan protokol routing AOMDV standar lalu dilanjutkan menjalankan script simulasi dengan menggunakan protokol routing PA-AOMDV. Hasil simulasi jaringan yang telah dijalankan akan memberikan output berupa file mentah bernama *trace file* berekstensi (.tr). Hasil file trace akan difiltering menggunakan skrip AWK untuk mendapatkan nilai konsumsi energi yang digunakan. Setelah itu dilakukan tahap analisis hasil simulasi terhadap kedua protokol routing, dan langkah terakhir adalah membuat kesimpulan dari hasil analisis yang telah dilakukan berdasarkan uji coba.

3.2 AOMDV

AOMDV adalah protokol routing yang bersifat reaktif routing untuk jaringan ad-hoc yang memungkinkan menggunakan lebih dari satu jalur untuk mengirimkan paket. AOMDV bekerja dengan cara yang mirip dengan protokol routing Distance Vector (DV), yaitu dengan mengirimkan tabel routing ke node tetangga secara periodik. Namun, AOMDV berbeda dari DV dalam beberapa aspek.

AOMDV memungkinkan untuk menggunakan lebih dari satu jalur dalam pengiriman paket, sehingga meningkatkan ketersediaan jaringan dan mengurangi kegagalan pengiriman paket. AOMDV bekerja dengan beberapa tahapan dalam pencarian rute atau jalur yaitu dengan cara *route discovery*, *broadcast route request* (RREQ), mengirim *route reply* (RREP), menerapkan *multipath*, dan memperbaharui tabel routing [9].

Tahap *route discovery* terjadi pada saat node yang ingin mengirimkan paket harus mengetahui rute yang tersedia untuk mencapai tujuan. Untuk itu, node pertama-tama melakukan proses discovery route dengan mengirimkan permintaan RREQ ke seluruh node tetangga. RREQ berisi informasi tentang node pengirim, node tujuan, dan nomor urut (sequence number) yang diberikan oleh node pengirim untuk setiap RREQ yang dikirim.

Broadcast RREQ dilakukan sebuah node ketika jalur menuju node tujuan tidak tersedia dalam tabel routing. Paket RREQ akan diterima oleh node tetangga yang berada dalam jangkauan node pengirim. Setiap node yang menerima RREQ memeriksa nomor urut (*sequence number*) RREQ dan mengabaikan RREQ jika

nomor urut tersebut lebih kecil dari nomor urut terakhir yang diterima. Jika nomor urut lebih besar atau sama, node tersebut memeriksa apakah node tujuan terdapat dalam tabel routing. Jika ya, node tersebut mengirimkan paket RREP ke node pengirim [10].

Jika node tidak menemukan node tujuan dalam tabel routing, node tersebut mengirimkan paket RREQ ke seluruh node tetangga yang belum menerima paket RREQ. Setiap node tetangga yang menerima paket RREQ menyimpan informasi tentang node pengirim dan node tetangga melalui paket RREQ yang diterima. Setelah node tujuan menerima paket RREQ, node tersebut mengirimkan paket RREP ke node pengirim, yang berisi informasi tentang rute terpendek dari node pengirim ke node tujuan.

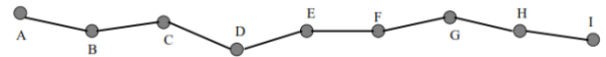
Protokol routing AOMDV memungkinkan untuk menggunakan lebih dari satu jalur (*multipath*) untuk mengirimkan paket. Setelah menerima paket RREP, node pengirim menyimpan informasi tentang rute terpendek dari node pengirim ke node tujuan dalam tabel routing. Jika node pengirim ingin mengirim paket, node tersebut memilih salah satu rute terpendek yang tersimpan dalam tabel routing. Jika rute tersebut tidak tersedia, node pengirim memilih rute alternatif yang terbaik.

3.3 PA-AOMDV

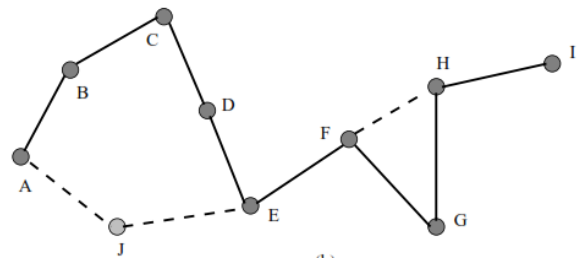
PA-AOMDV (Path Aware – AOMDV) merupakan protokol routing bersifat reaktif routing yang telah diimplementasikan algoritma PA- SHORT (*Path Aware - Self Healing and Optimizing Routing Techniques*) agar jumlah hop dalam suatu rute dapat dikurangi ketika jalur *shortcut* ditemukan [5]. Cara kerja protokol PA-AOMDV ini mirip dengan protokol AOMDV standar. Perbedaannya hanya ketika ada perubahan topologi yang disebabkan bergeraknya node-node, dan pada saat itu ada node yang datang masuk ke area komunikasi sebuah node dan dapat dijadikan jalur *shortcut*, maka jumlah hop pada sebuah rute dapat dikurangi.

Anggap terdapat sebuah rute dari node A menuju node I yang dapat dilihat pada Gambar 2. Sebuah paket yang dikirim dari node A akan melewati 8 hop untuk sampai ke node I. Saat pengiriman paket berlangsung, seiring perjalanan waktu, node-node bergerak bebas sehingga menyebabkan perubahan topologi jaringan yang dapat dilihat pada Gambar 2. Saat perubahan topologi terjadi (Gambar 2), node J bergerak masuk ke dalam area komunikasi node A dan node E bergerak masuk ke dalam area komunikasi node J. Pada saat yang sama, node H juga bergerak

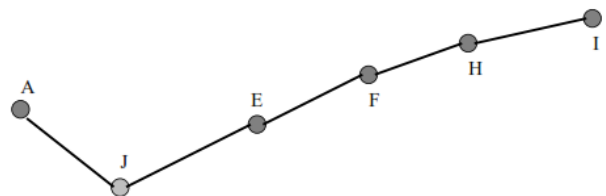
masuk ke dalam area komunikasi node F. Dikarenakan tabel *routing* yang belum *ter-update* ketika perubahan topologi terjadi, maka pengiriman paket dari node A ke node I masih menggunakan rute yang berjumlah 8 hop, sedangkan terdapat rute baru yang jumlah hopnya lebih sedikit untuk dapat digunakan seperti terlihat pada Gambar 4 yaitu sebanyak 5 hop [11].



Gambar 2. Sebuah rute dari node A ke node I

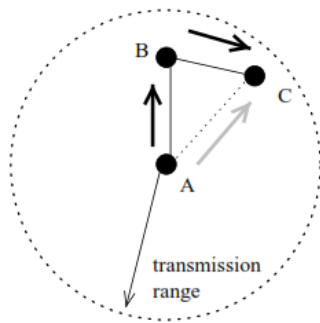


Gambar 3. Perubahan topologi jaringan



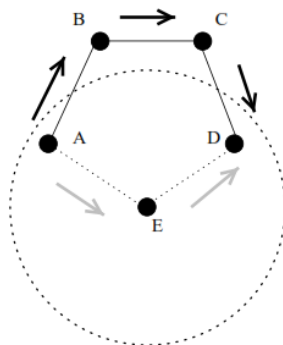
Gambar 4. Rute shortcut yang ditemukan

Proses pengurangan (reduksi) jumlah hop dapat dilihat pada Gambar 5. Terdapat sebuah node A yang di dalam area komunikasinya (*transmission range*) terdapat 2 buah node yaitu node B dan node C. Jalur A-B-C dapat direduksi menjadi A-C karena node C juga berada pada area komunikasi dari node A. Jalur *shortcut* seperti ini dapat disebut sebagai $(2,1)$ *reduction*. Secara umum $(n,1)$ *reduction* dapat diartikan bahwa terdapat n buah hop yang hanya dapat direduksi oleh 1 buah hop saja.



Gambar 5. Ilustrasi hop (2,1) shortcut

Pada Gambar 6 terdapat 5 buah node dimana di dalam area komunikasi node E terdapat node A dan node D. Node B berada dalam area komunikasi node A, node C berada pada area komunikasi node B, dan node D berada pada area komunikasi node C. Terdapat sebuah jalur dari node A menuju node D melalui A-B-C-D dengan jumlah 3 hop. Ketika ada perubahan topologi, sebenarnya terdapat sebuah jalur dari node A menuju node D yaitu melalui A-E-D yang memiliki 2 hop. Jalur shortcut ini dapat disebut sebagai (3,2) *reduction* yang artinya bahwa n hop yang berpartisipasi pada suatu jalur dapat direduksi menjadi hanya 2 hop saja. Secara umum (n,k) *reduction* memiliki arti bahwa n hop dapat direduksi menjadi k hop dimana nilai $k < n$ [11].



Gambar 6. Ilustrasi hop (3,2) shortcut

3.4 Model Energi Pada NS-2

Salah satu tantangan utama dalam jaringan MANET adalah keterbatasan daya baterai (energi) pada setiap node yang terlibat dalam jaringan. Oleh karena itu, penting untuk memperhitungkan energi

node pada jaringan MANET. Hal ini dikarenakan setiap node yang terhubung ke jaringan MANET memerlukan energi untuk beroperasi [12].

Dengan memperhitungkan energi node pada jaringan MANET, dapat dihindari terjadinya kekurangan daya pada node dan mengurangi risiko terjadinya kegagalan rute atau putusnya rute dalam jaringan. Penggunaan energi yang optimal pada setiap node dapat meningkatkan ketersediaan rute dalam jaringan. Hal ini akan sangat membantu dalam meningkatkan kinerja jaringan MANET.

Model Energi pada simulator NS-2 adalah model yang digunakan untuk memperhitungkan dan mengelola konsumsi energi pada setiap node dalam jaringan MANET. Model ini bertujuan untuk memberikan estimasi yang akurat tentang penggunaan energi pada setiap node dan memungkinkan pengguna untuk menguji kinerja jaringan MANET dalam berbagai skenario dan kondisi yang berbeda.

4. HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Parameter Skenario Simulasi

Parameter skenario simulasi digunakan untuk menggambarkan lingkungan simulasi jaringan pada simulator NS-2. Variasi jumlah node yang digunakan adalah sebanyak 25, 50, dan 100 node untuk melihat penggunaan energi jika diberikan jumlah node yang sedikit, sedang, dan banyak. Pemilihan 25, 50, dan 100 node dianggap ideal untuk merepresentasikan bahwa node tersebut dapat dikatakan sedikit, sedang, dan banyak karena berada pada network area $1000 \times 1000 \text{ m}^2$. Node-node akan di-generate secara acak pada luas area $1000 \times 1000 \text{ m}^2$ dan akan bergerak secara bebas ke segala arah dengan kecepatan 15 m/s. Semua node akan diberikan inisialisasi energi awal sebesar 100 Joule. Simulasi jaringan dijalankan selama 100 detik. Parameter skenario simulasi secara lengkap dapat dilihat pada TABEL I.

TABEL I. PARAMETER SKENARIO SIMULASI

Jumlah node	25, 50, 100
Kecepatan node	15 m/s
Luas area simulasi	$1000 \times 1000 \text{ m}^2$
Protokol Routing	PA-AOMDV, AOMDV
Inisialisasi energi	100 Joule
Model mobilitas	Random Waypoint
Waktu simulasi	100 detik
Model antena	Omni-directional

MAC protocol	IEEE 802.11
Pola trafik	CBR

4.2 Pengukuran Kinerja Jaringan

Kinerja jaringan diukur dengan menggunakan 3 (tiga) parameter yaitu *throughput*, *Packet Delivery Ratio (PDR)*, dan *Average Energy Consumption (AEC)*. Hasil parameter uji kinerja jaringan tersebut diperoleh menggunakan Bahasa Pemrograman AWK dengan mengambil data mentah dari trace file yang dihasilkan oleh NS-2.

Throughput digunakan untuk mengukur jumlah data atau informasi yang dapat ditransfer melalui sebuah jaringan dalam jangka waktu tertentu. Semakin tinggi *throughput* suatu jaringan, semakin banyak data yang dapat ditransfer dalam waktu tertentu, sehingga dapat membantu meningkatkan kinerja jaringan tersebut. Namun, *throughput* tidak hanya tergantung pada kapasitas jaringan, tetapi juga dipengaruhi oleh faktor-faktor lain seperti latensi, kestabilan jaringan, dan faktor-faktor lingkungan lainnya. *Throughput* dapat dihitung menggunakan persamaan 1 dan memiliki satuan *kilo bit per second (kbps)* [13].

$$Throughput = \frac{\text{Jumlah data yang dikirim}}{\text{Waktu pengiriman}} \quad (1)$$

PDR adalah rasio antara jumlah paket data yang berhasil dikirim dan diterima dengan jumlah total paket yang dikirim selama suatu periode waktu tertentu. PDR sering digunakan sebagai indikator pengukuran kinerja jaringan nirkabel, terutama pada jaringan MANET. Dalam jaringan MANET, paket data dapat hilang atau rusak selama perjalanan dari node pengirim ke node penerima, misalnya karena interferensi, attenuasi, atau kegagalan jaringan. Oleh karena itu, PDR mengukur efektivitas jaringan dalam mentransmisikan paket data dari satu node ke node lainnya. PDR biasanya diukur sebagai persentase, di mana semakin tinggi persentase PDR, semakin efektif jaringan dalam mengirim dan menerima paket data. Sebagai contoh, jika selama satu jam terdapat 100 paket data yang dikirim dan hanya 80 paket data yang berhasil diterima oleh penerima, maka PDR-nya adalah 80%. PDR yang tinggi menunjukkan kualitas jaringan yang baik. PDR dapat dihitung menggunakan persamaan 2 [14].

$$PDR = \frac{\text{Jumlah data yang diterima}}{\text{Jumlah data yang dikirim}} \times 100\% \quad (2)$$

Energi yang dikonsumsi oleh node dalam jaringan MANET dapat dihitung menggunakan rumus yang dapat dilihat pada persamaan 3 [15].

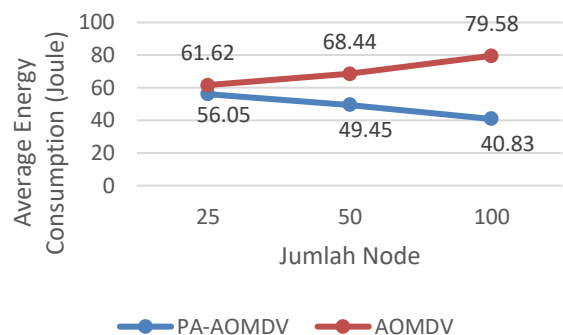
$$AEC = \frac{n(i-r)}{n} \quad (3)$$

dimana,
 AEC = Average Energy Consumption
 n = jumlah node
 i = initial energy
 r = residual energy

Pengukuran dilakukan untuk melihat hasil simulasi ketika menggunakan protokol *routing* PA-AOMDV dan AOMDV dari parameter skenario simulasi pada TABEL I.

4.3 Hasil dan Analisis

Pada bagian ini akan disajikan dan dijelaskan hasil simulasi jaringan yang telah dilakukan menggunakan *network simulator* NS-2. Hasil simulasi jaringan disajikan dalam bentuk grafik dengan parameter uji AEC, *throughput*, dan PDR.



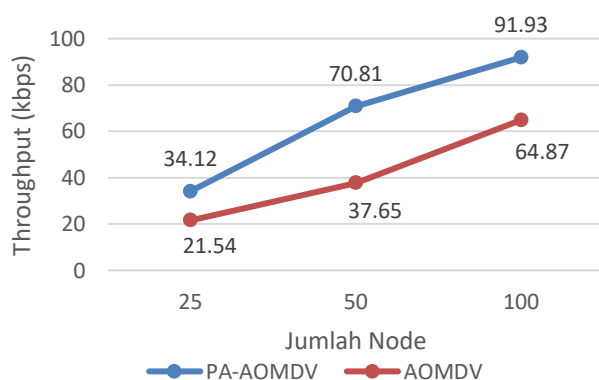
Gambar 7. ACE vs jumlah node

Gambar 7 di atas menunjukkan hasil uji coba rata-rata energi yang dikonsumsi (*Average Energy Consumption - ACE*) pada 25 node, 50 node, dan 100 node. Berdasarkan hasil uji coba, terlihat bahwa pada 25 node nilai ACE antara PA-AOMDV dan AOMDV standar memiliki perbedaan yang tidak banyak. PA-AOMDV memiliki nilai AEC sebesar 56,05 Joule sedangkan AOMDV standar memiliki nilai 61,62 Joule yang artinya membutuhkan energi yang lebih banyak dibanding PA-AOMDV. Perbedaan nilai AEC kedua protokol *routing* pada 25 node ini tidak terlalu signifikan dikarenakan jumlah node yang sedikit, pergerakan node yang ke segala arah, serta node-node

berada pada *network area* yang cukup besar sehingga menyebabkan jalur shortcut yang ditemukan sangat sedikit. Namun, pada 25 node, protokol *routing* PA-AOMDV mampu memberikan rata-rata konsumsi energi yang lebih baik dibanding AOMDV standar karena adanya jalur shortcut yang ditemukan dan jumlah hop yang berkurang. Pada 50 node dan 100 node terlihat nilai AEC pada protokol *routing* PA-AOMDV jauh lebih baik dibandingkan dengan AOMDV standar dimana PA-AOMDV mengkonsumsi energi lebih sedikit dibanding AOMDV standar.

Pada 50 node dan 100 node, secara berurutan PA-AOMDV memiliki nilai AEC 49,45 joule dan 40,83 joule. Hal ini disebabkan karena adanya kepadatan node yang cukup tinggi di 50 node dan 100 node sehingga banyak terbantu jalur-jalur shortcut yang mampu mengurangi jumlah hop dan meminimalisir penggunaan energi tiap node.

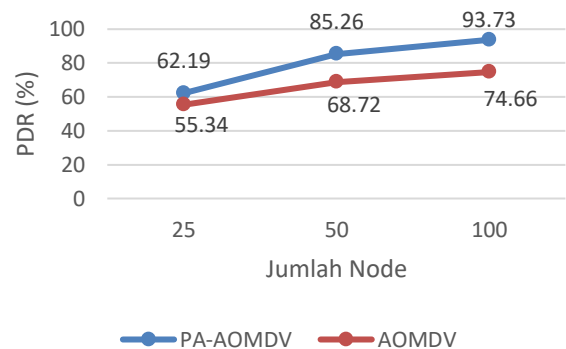
Pada protokol *routing* AOMDV standar terlihat bahwa semakin banyak jumlah node, energi yang dikonsumsi pun semakin tinggi. Pada 25 node nilai AEC sebesar 61,62 Joule, pada 50 node nilai AEC sebesar 68,44 Joule, dan pada 100 node nilai AEC yang dihasilkan sebesar 79,58 Joule. Hal ini dikarenakan tidak adanya jumlah hop yang dikurangi, dan adanya kemungkinan jalur yang dilewati memiliki jumlah hop yang sangat banyak dan apabila rute tersebut putus maka harus menggunakan rute alternatif yang ada pada tabel *routing*, namun jika rute alternatif tidak tersedia, maka akan dilakukan proses pencarian rute lagi dari awal yang tentu saja membutuhkan energi yang cukup banyak.



Gambar 8. *Throughput* vs jumlah node

Gambar 8 merupakan grafik yang menunjukkan *throughput* yang dihasilkan oleh protokol *routing* PA-AOMDV dan AOMDV standar. Terlihat bahwa PA-AOMDV memberikan nilai *throughput* yang lebih baik

dibanding AOMDV standar, baik pada 25 node, 50 node, dan 100 node. Hal ini dikarenakan jalur shortcut yang ditemukan dengan jumlah hop yang sedikit oleh protokol PA-AOMDV menyebabkan *throughput* meningkat. Pada 25 node, 50 node, dan 100 node protokol *routing* PA-AOMDV secara berurutan menghasilkan *throughput* sebesar 34,12 kbps, 70,81 kbps, dan 91,93 kbps. Sedangkan AOMDV standar secara berurutan menghasilkan *throughput* sebesar 21,54 kbps, 37,65 kbps, dan 64,87 kbps. *Throughput* merupakan ukuran yang menunjukkan seberapa cepat data dapat dikirim atau diterima dalam jaringan. Semakin tinggi nilai *throughput*, maka semakin banyak data yang dapat diproses dalam satu waktu.



Gambar 9. PDR vs jumlah node

Gambar 9 merupakan grafik persentase PDR yang dihasilkan dari simulasi jaringan yang telah dilakukan. Perhitungan persentase PDR menggunakan persamaan 2. Terlihat pada Gambar 9 nilai PDR protokol *routing* PA-AOMDV jauh lebih baik dibanding nilai PDR dari AOMDV standar. Pada 25 node, 50 node, dan 100 node secara berurutan nilai PDR dari protokol *routing* PA-AOMDV sebesar 62,19%, 85,26% dan 93,73%. Untuk nilai PDR dari AOMDV standar secara berurutan menghasilkan nilai sebesar 55,34%, 68,72%, dan 74,66%. PDR menunjukkan seberapa banyak paket data yang berhasil dikirim dari sumber ke tujuan dalam jumlah total paket yang dikirim.

5. KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil ujicoba dari skenario simulasi jaringan yang telah diberikan, dapat disimpulkan bahwa :

1. Pada skenario uji coba 25 node, perbedaan nilai AEC protokol *routing* PA-AOMDV dan AOMDV tidak terlalu signifikan, hal ini disebabkan karena kepadatan node yang kecil di network area yang luas sehingga jalur shortcut yang terbentuk sangat sedikit. Protokol *routing* PA-AOMDV tidak cocok diterapkan pada jaringan dengan jumlah node yang sangat sedikit, namun PA-AOMDV mampu memberikan konsumsi energi yang lebih baik dibanding AOMDV standar sesuai dalam grafik yang disajikan pada Gambar 7.
 2. Peningkatan jumlah node sangat berpengaruh terhadap performa protokol *routing* PA-AOMDV dalam hal konsumsi energi, karena banyak jalur shortcut yang dapat ditemukan.
 3. Nilai *throughput* dan PDR protokol *routing* PA-AOMDV dan AOMDV standar sama-sama cenderung meningkat seiring bertambahnya jumlah node, namun PA-AOMDV mampu memberikan hasil yang sangat baik dibanding AOMDV standar.
 4. Untuk topologi jaringan dengan jumlah node yang sangat banyak dengan network area yang luas, penggunaan protokol *routing* PA-AOMDV lebih disarankan untuk menghemat konsumsi energi.
- [3] M. Yadav dan N. Uparosiya, "Survey on MANET: Routing Protocols, Advantages, Problems and Security", IJCSE, vol. 1, no. 2, hal. 12-17, 2014.
 - [4] B. Mathur dan A. Jain, "AOMDV Protocol: A Literature Review", IJNTR, vol. 4, no. 7, hal. 27-30, 2018.
 - [5] Y. P. Wulandari, A. H. Jatmika, dan F. Bimatoro, "Meningkatkan Efisiensi Rute Pada Protokol Routing AOMDV Menggunakan Metode PA-SHORT di Jaringan MANET", JTIKA, vol. 1, no. 1, hal. 77-85, 2019.
 - [6] D. S. J. De Couto, D. Aguayo, B. A. Chambers dan R. Morris, "Performance of Multihop Wireless Networks: Shortest Path is Not Enough", ACM SIGCOMM, vol. 33, no. 1, 2003.
 - [7] C. Gui dan P. Mohapatra, "SHORT: Self-Healing and Optimizing Routing Techniques for Mobile Ad Hoc Networks", in *Conference 4th ACM International Symposium on Mobile Ad Hoc Networking and Computing*, Annapolis, Maryland, USA, 2003.
 - [8] N. Fahriani, S. Djanali, dan A. M. Shiddiqi, "Efisiensi Rute Pada Protokol Dynamic Source Routing Menggunakan Path Aware-Short", Jurnal Eksplorasi Informatika, vol. 2, no. 1, hal. 37-48, 2012.
 - [9] M. K. Marina dan S. R. Das, "Ad hoc on-demand multipath distance vector routing", *Wireless Communication and Mobile Computing*, vol. 6, no. 7, hal. 969-988, 2006.
 - [10] R. Balakrishna, U. R. Rao, dan N. Geethanjali, "Performance issues on AODV and AOMDV for MANETS", IJCSIT, vol. 1, no. 2, hal. 38-43, 2010.
 - [11] C. Gui dan P. Mohapatra, "A framework for self-healing and optimizing routing techniques for mobile ad hoc networks", *Wireless Network*, vol. 14, hal. 29-46, 2008.
 - [12] K. Narayanan dan S. G. D. C. Dhas, "An analysis of energy models for mobile ad hoc networks", JATIT, vol. 58, no. 3, hal. 609-617, 2013.
 - [13] M. S. Memon, G. Ali, dan N. A. Shaikh, "Throughput Evaluation for QoS Measurement in Manets", AJBAS, vol. 4, no. 5, hal. 914-921, 2010.
 - [14] Vijaya, A. K. Rath, B. Puthal, D. Mishra dan S. Satapathy, "Performance Analysis of QoS Parameters of MANET on Mobility and Energy based Model with Different MANET Routing Protocols", INDJST, vol. 9, no. 37, hal. 1-14, 2016.
 - [15] A. P. Kaur, N. Chowdhary, dan J. Malhotra, "Performance Measure Modeling Of Routing Protocols In MANET", IJFGCN, vol. 8, no. 6, hal. 215-228, 2015.

5.2 Saran

Untuk penelitian selanjutnya diharapkan perlu dilakukan uji coba terhadap protokol PA-AOMDV dengan menambahkan variasi parameter uji seperti kecepatan node, luas network area, jumlah node, penambahan waktu simulasi yang bertujuan untuk mengetahui apakah perubahan yang terjadi bersifat permanen atau sementara. Penambahan variasi uji coba tentu saja akan berdampak terhadap spesifikasi komputer yang digunakan untuk menjalankan simulasi jaringan, sehingga perlu dilakukan pengujian di komputer yang memiliki spesifikasi yang cukup tinggi agar proses komputasi berjalan lebih cepat.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] A. H. Jatmika, S. P. Waskito, dan A. Zubaidi, "Implementasi Algoritma Pemilihan Node Tetangga Terbaik Pada Protokol Routing DSR di Jaringan MANET", J-Cosine, vol. 6, no. 1, hal. 64-72, 2022.
- [2] H. Akbar, A. H. Jatmika, dan M. A. Albar, "Analisis Pengaruh Metode LET pada Protokol Routing Proaktif dan Reaktif di Jaringan MANET", J-Cosine, vol. 2, no. 2, hal. 120-126, 2018.