

PENCARIAN RUTE BERDASARKAN JARAK NODE TERDEKAT DAN EFISIENSI ENERGI PADA PROTOKOL ROUTING AOMDV DI JARINGAN MANET

(ROUTE SEARCH BASED ON THE DISTANCE TO THE NEAREST NODE AND ENERGY EFFICIENCY IN THE AOMDV ROUTING PROTOCOL IN THE MANET NETWORK)

Muhamad Rizqi Duha Pramudya¹⁾, 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: riskypram263@email.com¹⁾, andy@staff.unram.ac.id²⁾, Raphael.bianco.huwae@unram.ac.id³⁾

ABSTRAK

Jarak node pada saat berkomunikasi menjadi sebuah tantangan utama dalam melakukan pencarian rute. Jarak node yang jauh akan mengkonsumsi energi yang besar pada proses perutean sehingga terjadinya kegagalan atau terputusnya jalur perutean menjadi sebuah masalah yang perlu diperhatikan. Salah satu kelemahan dalam protokol AOMDV adalah tidak memperhatikan jarak node dan energi node pada proses perutean. Oleh karena itu, penelitian ini mengusulkan untuk memodifikasi protokol routing AOMDV standar dengan menambahkan Algoritma Preserving Energy Optimization untuk mengidentifikasi pemilihan node berdasarkan jarak node dengan node sumber dengan mempertimbangkan energi node pada proses perutean. Pendekatan yang digunakan meliputi modifikasi pada pesan Hello, agar pesan tersebut mempunyai lokasi geografis berdasarkan koordinat x dan y. Simulasi ini dilakukan dengan menggunakan NS-2.35 pada sistem operasi Linux Ubuntu. Parameter uji meliputi konsumsi energi, end-to-end delay dan packet delivery rasio (PDR). Hasil simulasi penerapan algoritma PEO-AOMDV memberikan kinerja yang signifikan pada semua parameter yang diuji. Dalam hal konsumsi energi, terdapat penghematan sebesar 16.04%. Selain itu, terjadi penurunan rata-rata end-to-end delay sebesar 43.08% hingga peningkatan persentase PDR sebesar 15.17% pada berbagai variasi kepadatan node.

Kata Kunci: Protokol Routing, AOMDV, Preserving Energy Optimization, Konsumsi Energi.

ABSTRACT

The distance of nodes when communicating is a major challenge in route finding. The long distance of nodes will consume a lot of energy in the routing process so that the occurrence of failure or disconnection of the routing path becomes a problem that needs to be considered. One of the weaknesses in the AOMDV protocol is that it does not pay attention to node distance and node energy in the routing process. Therefore, this research proposes to modify the standard AOMDV routing protocol by adding the Preserving Energy Optimization Algorithm to identify node selection based on the node's distance to the source node by considering the node's energy in the routing process. The approach used includes modifications to the Hello message, so that the message has a geographic location based on x and y coordinates. The simulation was conducted using NS-2.35 on Linux Ubuntu operating system. The test parameters include energy consumption, end-to-end delay and packet delivery ratio (PDR). The simulation results of applying the PEO-AOMDV algorithm provide significant performance on all tested parameters. In terms of energy consumption, there is a saving of 16.04%. In addition, there is a decrease in average end-to-end delay by 43.08% to an increase in PDR percentage by 15.17% at various node density variations.

Keywords: Routing Protokol, AOMDV, Preserving Energy Optimization, Energy Consumption.

I. PENDAHULUAN

Dalam komunikasi jaringan nirkabel seperti *Mobile Ad-hoc Network* (MANET), jarak antara node merupakan faktor yang krusial dalam mempengaruhi konsumsi energi setiap node [12]. Semakin jauh jarak antara node pusat dan node tujuan, maka semakin besar pula energi yang dibutuhkan dalam mentransmisikan paket. mobilitas node secara dinamis menyebabkan jarak antar node berubah secara terus-menerus. Ketika proses transmisi paket terlalu jauh dan

node kehabisan energi, maka akan menyebabkan pencarian rute akan terjadi kegagalan rute dan mungkin akan terputus sehingga diperlukan protokol routing yang mampu menangani perubahan jarak node yang cepat dan dinamis.

Salah satu protokol yang bisa digunakan adalah AOMDV (Ad-Hoc On-Demand Multipath Distance Vector) yaitu protokol routing reaktif yang akan mencari beberapa jalur alternatif (multipath) untuk mencapai node tujuan yang sama dalam jaringan

MANET [1]. Ketika node ingin mengirimkan data, AOMDV mengirimkan pesan *Route Request* (RREQ) secara broadcast ke seluruh node-node tetangga. 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].

Dalam proses pencarian rute, protokol routing AOMDV tidak mempertimbangkan jarak antara node sumber dan node tetangga saat melakukan siaran paket *Route Request* (RREQ). Hal ini dapat mengakibatkan node-node yang terlibat dalam rute yang ditemukan memiliki jarak yang cukup jauh, yang pada gilirannya berdampak negatif pada kinerja jaringan dan mempengaruhi konsumsi energi pada node-node tersebut[3].

Pada penelitian [4], penulis melakukan penelitian menggunakan protokol routing AOMDV dengan parameter simulasi menggunakan 30,50, dan 70 node pada luas area 800x800 m². Pada simulasi tersebut, protokol AOMDV memiliki nilai *throughput* yang rendah untuk berbagai skenario jumlah node terutama nilai paling rendah ditunjukkan pada variasi jumlah 70 node. Pada penelitian [5], dilakukan simulasi dengan menggunakan protokol routing TORA dengan simulasi jumlah node 30,50 dan 70 pada luas area 1000m x 1000m dengan energi awal 1000 Joule. Kinerja diukur dengan menggunakan parameter nilai rata-rata konsumsi energi kemudian dilakukan simulasi dan nilai rata-rata konsumsi energi mengalami penurunan seiring dengan bertambahnya jumlah node. Pada penelitian [1], penulis melakukan identifikasi mode mobilitas menggunakan protokol routing OLSR dengan skenario jumlah node 20, 40, 60, 80, dan 100 pada luas area 1000m x 1000m dengan energi awal 1000 Joule. Akan tetapi terjadi kenaikan nilai rata-rata konsumsi energi seiring bertambahnya jumlah node.

Pada penelitian [4],[5],[1] tidak dilakukan perhitungan jarak antar node ketika proses pencarian rute. Pada penelitian ini bertujuan memodifikasi kerangka protokol routing AOMDV untuk mengatasi masalah kerusakan jalur komunikasi akibat dari jarak node yang terlalu jauh dari jangkauan komunikasi antar node serta menjaga konsumsi energi node dalam jaringan MANET menggunakan algoritma *Preserving Energy Optimization* dengan memperhatikan jarak node-node dan banyaknya energi yang digunakan saat menentukan jalur yang digunakan.

Simulasi jaringan dilakukan menggunakan Network Simulator 2 (NS-2.35) yang diinstal pada sistem operasi

Linux Ubuntu versi 14.04. Perbandingan dilakukan antara protokol routing AOMDV standar dengan versi AOMDV yang telah dimodifikasi. Parameter yang diukur dalam simulasi ini meliputi konsumsi energi, *end-to-end delay*, dan *packet delivery ratio* (PDR).

II. STUDI PUSTAKA

Pada penelitian [6] dilakukan penelitian untuk mengoptimasi penggunaan energi dalam jaringan MANET. Simulasi dilakukan dengan memodifikasi protokol AODV dengan algoritma *Preserving Energy Optimization* dengan melakukan penambahan koordinat geografis ke paket hello, protokol akan memilih jalur dengan hop minimum dan menggunakan interval dalam menentukan node yang paling dekat dengan sumber. Parameter uji yang digunakan adalah rata-rata konsumsi, *end-to-end delay*, PDR, jumlah kehilangan jalur dan overhead kontrol dimana simulasi yang digunakan yaitu menggunakan luas area 500mx500m, jumlah node 15 hingga 115 node, letak node secara acak. Sehingga setelah dilakukan simulasi, maka simulasi ini berhasil mengurangi konsumsi energi lebih dari 20% dibandingkan dengan AODV standar. Pengurangan *delay* karena mengurangi jumlah *loop* transmisi RREQ di jaringan. Meningkatkan PDR dengan memastikan paket yang berhasil sampai ke tujuan. Jumlah kehilangan jalur berkurang secara signifikan karena jalur dipilih berdasarkan stabilitas dan durasi link. *Overhead kontrol* juga berkurang karena pengelolaan jalur yang lebih efisien, dengan mengurangi kebutuhan untuk paket kontrol tambahan seperti RERR.

Penelitian [7] mencoba meningkatkan efisiensi energi pada jaringan manet dengan mengintegrasikan algoritma *Rule-Based Optimization*(RBO) untuk mengelola konsumsi energi pada setiap node dan juga mengimplementasikan algoritma *Quality of Service Compensation Routing* (QSCR) untuk melakukan optimasi pada routing. Simulasi ini menggunakan beberapa parameter seperti luas area sebesar 2000+2000m, waktu simulasi 500 detik, jumlah node yang digunakan sebanyak 100 node dengan parameter uji seperti rata-rata konsumsi energi per node, *throughput*, dan latensi. Setelah dilakukan simulasi dengan parameter tersebut, penerapan algoritma ini berhasil rata-rata konsumsi energi node adalah 5,81 joules setiap kali komunikasi dengan rata-rata konsumsi energi 5,3236 joules/detik. Penerapan algoritma ini juga berhasil mendapatkan kinerja Qos pada *throughput* sebesar 85.40 Mbps dengan latensi 13.60ms sehingga algoritma RBO (*Rule-Based Optimization*) berhasil mengontrol konsumsi energi dengan memonitoring jaringan dan pengelolaan node pada saat berkomunikasi untuk menghemat energi node.

Pada penelitian [3], penulis mencoba melakukan mendistribusikan beban lalu lintas dari semua node secara merata dengan menggunakan algoritma *Energy-Aware SHORT* (EA-SHORT) pada protokol routing AOMDV. Penelitian ini dilakukan dengan memperpanjang energi node dan jaringan secara menyeluruh dengan mengarahkan rute ke node yang memiliki energi yang cukup sehingga akan menghindari perutean ke node yang memiliki energi yang rendah. Simulasi dilakukan berdasarkan parameter uji yaitu *throughput*, rata-rata *end-to-end delay* dan *Packet Delivery Ratio*(PDR). Hasil simulasi pada skenario luas area 500mx500 m² hasil *throughput* meningkat pada EA-AOMDV sebesar 13,904% dan untuk luas area 1000m x 1000m² hasil *throughput* meningkat pada EA-AOMDV sebesar 13,905%. Hasil simulasi juga menunjukkan bahwa adanya peningkatan pada parameter uji seperti *Packet Delivery Rasio* (PDR) sebesar 0.91% dan rata-rata *end-to-end delay* menurun sebesar 20,482% dan 18,734%.

Penelitian [8] berfokus pada analisis kinerja protokol routing dengan menggunakan algoritma ETX dan PA-SHORT AODV pada MANET. Penelitian ini akan mengevaluasi kinerja protokol PA-SHORT AODV dengan AODV standar dan menganalisis dampak dari penambahan metrik ETX pada protokol tersebut. Parameter uji yang digunakan meliputi *Packet Delivery Rasio* (PDR), *Throughput*, *End-to-end delay* dan jumlah node yang digunakan sebanyak 50 dan 100. Hasil dari simulasi menunjukkan penerapan algoritma PA-SHORT dan ETX memberikan nilai *throughput* yang tinggi yaitu sebesar 67,56 kbps dan 74,67 kbps. Selain itu, penerapan algoritma ini juga memiliki nilai *Packet Delivery Rasio* (PDR) yang selalu tinggi pada implementasi 50 dan 100 node yaitu sebesar 75,89% dan 76,66%. Namun nilai *End-to-end delay* tertinggi hanya didapatkan pada simulasi 50 node sebesar 0,1365.

Pada penelitian [9], penulis menganalisis pengaruh pergerakan antar jarak node dalam jangkauan komunikasi tetangganya pada protokol routing *Dynamic MANET on Demand* (DYMO). Penelitian ini bertujuan dalam mengevaluasi dan membandingkan kinerja dari protokol DYMO dengan menggunakan 2 model pergerakan yaitu *Random Waypoint*(RWP) dan *Random Direction*(RD). Simulasi ini dilakukan dengan menginisiasikan skenario dengan penambahan jumlah node, luas area maupun kecepatan maksimum. Parameter uji yang diterapkan meliputi *Paket Delivery Rasio* (PDR), *end-to-end delay*, *throughput* dan *packet loss*. Hasil penelitian menunjukkan perbedaan kinerja yang signifikan antara 2 model tersebut dimana pada model RWP menunjukkan nilai rata-rata *Packet Delivery Ratio* (PDR) yang baik yaitu 98,60% dengan tingkat *packet loss* yang rendah sebesar 1,40%. Di sisi

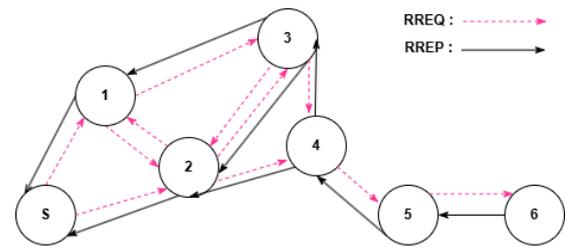
lain, model pergerakan *Random Direction* (RD) menghasilkan kinerja yang sedikit lebih rendah dengan nilai PDR rata-rata sebesar 96,16% dan tingkat *packet loss* yang lebih tinggi yaitu 3,84%.

Berdasarkan penelitian sebelumnya yang hanya fokus pada satu aspek, baik itu jarak atau konsumsi energi, peneliti menawarkan pendekatan baru yang mempertimbangkan jarak antar node dalam proses komunikasi serta optimasi energi selama transmisi pada protokol routing AOMDV. Pendekatan ini terbukti efektif dalam kondisi jumlah kepadatan node yang meningkat dan pemilihan node yang lebih efisien dengan mempertimbangkan jumlah energi yang tersedia pada setiap node.

III. METODE PENELITIAN

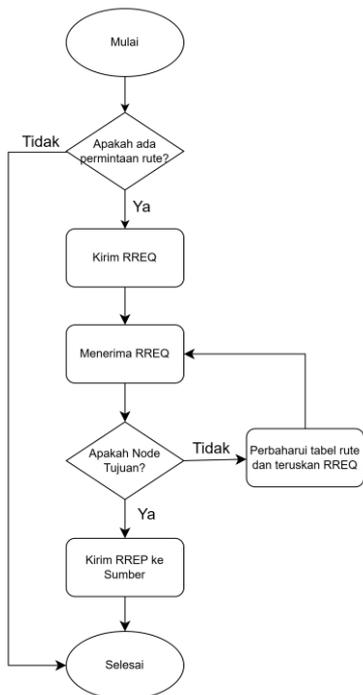
Pada bab ini akan memberikan penjelasan tentang prosedur yang akan dilaksanakan dalam penelitian pencarian rute seperti mekanisme kerja protokol AOMDV standar, implementasi dari penerapan algoritma *Preserving Energy Optimization* dan konsumsi energi.

A. Mekanisme Kerja Protokol AOMDV Standar



Gambar 1. Proses Pencarian Rute AOMDV

Berdasarkan Gambar 1. Proses pencarian rute dalam protokol AOMDV dimulai ketika node sumber, yang dalam hal ini adalah node S, ingin mengirimkan paket ke node tujuan, yaitu node 6. Untuk memulai proses ini, node S mengirimkan paket *Route Request* (RREQ) ke node-node terdekatnya, seperti node 1 dan 2. Setelah menerima paket RREQ, node 1 dan 2 akan memeriksa paket tersebut. Karena keduanya bukan merupakan node tujuan, mereka akan melanjutkan penyebaran paket RREQ ke semua node terdekat yang lainnya. Proses ini akan terus berlangsung hingga pesan mencapai node tujuan, yaitu node 6. Ketika node tujuan berhasil menerima paket RREQ, maka akan merespons dengan mengirimkan paket *Route Reply* (RREP) sebagai konfirmasi bahwa jalur telah ditemukan.



Gambar 2. Flowchart Penemuan Rute AOMDV

Pada Gambar 2 di atas, ditampilkan flowchart proses penemuan rute dalam protokol AOMDV. Ketika ada permintaan rute, node sumber akan mengirimkan paket *Route Request* (RREQ) ke node tetangga. Setiap node yang menerima RREQ akan memeriksa apakah mereka adalah tujuan akhir. Jika demikian, mereka akan mengirimkan *Route Reply* (RREP) kembali ke sumber. Namun, jika tidak dan RREQ belum pernah diterima sebelumnya, node tersebut akan memperbarui tabel rute dan meneruskan RREQ. Proses pencarian rute ini akan terus berlanjut hingga pesan RREP diterima oleh sumber, yang menandakan bahwa jalur menuju tujuan telah ditemukan dan memastikan bahwa jalur tersebut bebas dari *loop* serta efisien.

B.Preserving Energy Optimization –AOMDV (PEO-AOMDV)

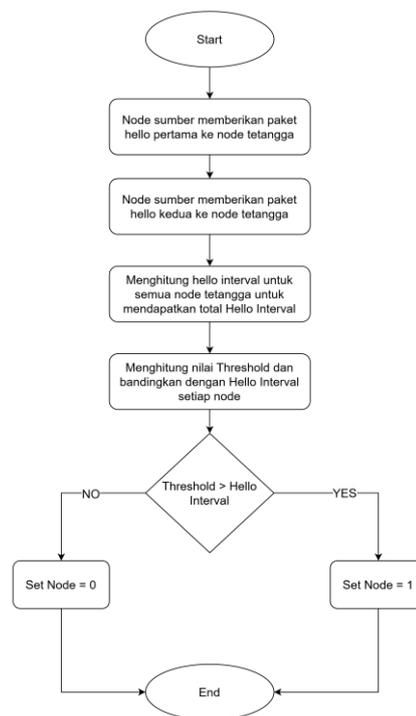
Preserving Energy Optimization–AOMDV (PEO-AOMDV) merupakan sebuah protokol routing yang dimodifikasi untuk pengoptimalkan penggunaan energi dengan menggunakan protokol routing standar. Implementasi awal algoritma ini dimodifikasi dengan menambahkan informasi posisi atau lokasi geografis ke dalam paket hello yang akan dikirim, seperti yang ditunjukkan pada Tabel 1. Setiap node memiliki pengetahuan tentang lokasinya sendiri dan akan menyiarkan informasi tersebut saat bergerak. Node sumber bertanggung jawab untuk memastikan akurasi saat mencari node berdasarkan lokasi. Oleh karena itu, perutean geografis menjadi pilihan yang tepat untuk jaringan yang besar. Selain itu, konsumsi energi untuk setiap hop dapat diminimalkan dengan pemilihan node

relay yang tepat. Posisi node disertakan dalam koordinat geografis.

Tabel. 1 Modifikasi Paket Hello

Bagian yang dimodifikasi	Jenis
Posisi Geografis (GP)	Koordinat X dan Y

Oleh karena itu, posisi geografis (GP) digunakan untuk mengirimkan informasi mengenai lokasi node dalam jaringan serta untuk menentukan keberadaan node yang berada dekat atau jauh dari sumber. Pendekatan ini dapat mengurangi overhead protokol dan konsumsi energi pada node, sambil memberikan informasi terkini tentang lokasi fisik dari node yang meneruskan paket[3].



Gambar 3. Flowchart sebelum menerima RREQ

Gambar 3 diatas menunjukkan flowchart yang menggambarkan proses pemilihan node terdekat dengan menggunakan paket Hello. Proses ini dimulai dengan menyebarkan RREQ ke semua node yang berada dalam jangkauan komunikasi, dimulai dengan pengiriman paket Hello pertama. Setelah itu, paket Hello kedua disebar untuk memverifikasi node-node yang terdekat. Selanjutnya, semua node yang telah menerima paket Hello kedua akan menghitung interval Hello mereka, sehingga setelah paket tersebut tiba, jarak antara setiap node dan node tetangga dapat dihitung untuk menentukan jalur terpendek. Dengan demikian, nilai Hello Interval (HI) dapat dihitung menggunakan persamaan berikut [6].

$$\text{Hello Interval} = \text{Paket Hello 2} + \text{Paket Hello 1} \quad (1)$$

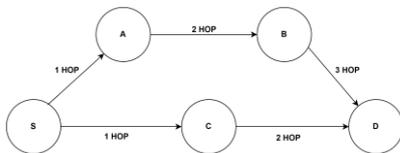
Setelah itu, akan didapatkan Total Hello Interval (THI) dengan menggunakan persamaan 2.

$$\text{Total Hello Interval} = \text{Hello Interval 1} + \text{Hello Interval 2} + \dots + \text{Hello Interval n} \quad (2)$$

Kemudian, menghitung nilai *Threshold* untuk menentukan node terdekat dengan sumber dengan persamaan 3.

$$\text{Nilai Threshold} = \frac{\text{Total Hello Interval}}{\text{jumlah node tengah}} \quad (3)$$

Setelah itu, hasil nilai *Threshold* akan dibandingkan dengan *Hello Interval* untuk node tertentu. Jika nilai *Threshold* lebih besar dari *Hello Interval*, node tersebut akan didefinisikan dengan nilai 1, yang menunjukkan bahwa node tersebut dekat dengan sumber. Sebaliknya, jika nilai *Threshold* lebih kecil, node tersebut akan diinisialisasi dengan nilai 0 dan dianggap jauh dari sumber. Ketika node sumber siap untuk mengirim data ke node tujuan tetapi tidak memiliki jalur langsung, paket akan mencapai tujuannya dengan bantuan node perantara (Node A, Node B, atau Node C). Proses ini mencakup modifikasi pesan RREQ yang diterima, termasuk penambahan jumlah *hop count*, seperti yang ditunjukkan pada Gambar 4.



Gambar 4. Hop Counts

Node sumber yaitu node S akan menyiarkan RREQ ke semua node tetangga, yaitu node A dan C. Kemudian, node A dan C menambah jumlah hop sebesar 1 dan menyebarkan ulang paket RREQ ke node tetangga berikutnya untuk mencapai node tujuan yaitu node D. Node D mungkin menerima paket yang sama melalui rute yang berbeda. Rute optimal dipilih oleh node tujuan berdasarkan jumlah hop minimum. Node tujuan mengirimkan RREP kembali ke node sumber melalui jalur yang dipilih dan mengabaikan rute lainnya (node A dan node B). Jika terdapat beberapa rute dengan jumlah hop yang sama, keputusan akan diambil berdasarkan perhitungan paket Hello menggunakan persamaan 3.

Berdasarkan Gambar 4, jumlah hop minimum dapat mengurangi konsumsi energi dan memperpanjang masa rute dalam jaringan MANET. Protokol ini akan mencari jalur ke node tujuan dengan jumlah node perantara yang paling sedikit. Jika paket ditransmisikan dengan jarak yang jauh dan jumlah hop yang banyak, maka konsumsi energinya akan tinggi. Sebaliknya, jika paket dikirim dengan jarak pendek dan jumlah hop yang minimal, konsumsi energinya akan lebih rendah, sesuai dengan penelitian yang ada dan dapat dilihat pada persamaan 5 dan 7. Dengan demikian, konsumsi energi sangat

bergantung pada jumlah hop antar node. Gambar 4 juga menunjukkan persamaan mengenai rute dari S, A, B, dan D.

$$y = x + 2x + 3x \quad (4)$$

$$\text{total } y = 6x \quad (5)$$

Untuk rute S, C, D, diperoleh persamaan berikut.

$$y = x + 2x \quad (6)$$

$$\text{total } y = 3x \quad (7)$$

Berdasarkan persamaan di atas, variabel *x* didefinisikan sebagai konsumsi energi untuk setiap hop, sedangkan *y* merupakan total konsumsi energi untuk semua rute. Dengan demikian, ketika membandingkan dua rute menggunakan persamaan 5 dan 7, dapat dilihat bahwa rute S, C, dan D, yang hanya memiliki dua hop, sehingga mengkonsumsi energi yang lebih sedikit dibandingkan dengan rute lainnya. Selain itu, flowchart untuk node tujuan setelah menerima RREQ ditampilkan pada Gambar 5 di bawah ini.



Gambar 5. Flowchart setelah menerima RREQ

C. Konsumsi Energi

Node-node dalam jaringan Mobile Ad-Hoc Networks (MANET) memiliki daya atau energi yang terbatas, sehingga hal ini menjadi faktor utama yang membatasi masa penggunaannya dalam proses transmisi[5]. Oleh karena itu, penting untuk mempertimbangkan energi yang dimiliki oleh node dalam jaringan MANET. Setiap node yang terhubung dalam jaringan ini membutuhkan energi untuk mendukung komunikasi dan menjalankan protokol routing[10].

Dengan mempertimbangkan aspek energi pada setiap node, masalah kekurangan energi dapat diatasi dan risiko kegagalan atau terputusnya rute dalam jaringan dapat diminimalkan. Dengan memanfaatkan energi secara optimal di setiap node, ketersediaan energi dalam jaringan dapat meningkat, yang pada akhirnya berkontribusi pada peningkatan kinerja jaringan MANET.

D. Parameter Kinerja Jaringan

Kinerja jaringan diukur menggunakan beberapa parameter seperti konsumsi energi, *end-to-end delay* dan *Packet Delivery Ratio* (PDR).

1) Konsumsi Energi

Konsumsi Energi mengacu pada jumlah energi yang dikeluarkan dalam melakukan transmisi. Konsumsi energi terjadi dalam beberapa kondisi. Saat node melakukan transmisi atau mengirimkan pesan, energi yang digunakan disebut sebagai *Transmit* dan dilambangkan dengan simbol P_{tx} . Ketika node menerima pesan, energi yang dibutuhkan disebut *Receive*, dengan simbol P_{rx} . Selain itu, terdapat kondisi *Idle*, dimana node dalam keadaan diam tetapi tetap mendengarkan pesan. Energi yang digunakan dalam kondisi ini dilambangkan dengan simbol P_{idle} . Terakhir, terdapat kondisi *Sleep*, di mana radio pada node dimatikan sehingga node tidak dapat mendeteksi sinyal atau berkomunikasi. Dalam kondisi ini, energi yang digunakan dilambangkan dengan simbol P_{sleep} , yang nilainya lebih kecil dibandingkan dengan kondisi lainnya. Energi yang terkonsumsi saat menerima (E_{rx}) atau mentransmisikan (E_{tx}) satu paket dapat dihitung berdasarkan kondisi-kondisi tersebut[11].

$$E_{rx} = P_{rx} \times Duration$$

$$E_{tx} = P_{tx} \times Duration \quad (8)$$

2) End-to-End Delay

Delay merujuk pada waktu yang diperlukan oleh paket data untuk berpindah dari sumber ke tujuan dalam jaringan. Semakin tinggi nilai *delay*, semakin lama waktu yang dibutuhkan untuk mengirimkan data. *Delay* biasanya diukur dalam satuan milidetik (ms). Nilai rata-rata *delay* dapat dihitung dengan menggunakan rumus berikut[8].

$$Delay = \frac{\sum(waktu\ terima - waktu\ kirim)}{Waktu\ pengiriman\ data} \quad (9)$$

3) Packet Delivery Rasio

Packet Delivery Ratio (PDR) digunakan untuk mengukur tingkat keberhasilan pengiriman paket dalam jaringan dilakukan dengan membandingkan jumlah paket yang berhasil diterima oleh node

tujuan dengan waktu pengiriman data. *Packet Delivery Ratio* (PDR) dapat dihitung menggunakan rumus berikut[10].

$$PDR = \frac{Jumlah\ data\ yang\ diterima}{Jumlah\ data\ yang\ dikirim} \times 100\% \quad (10)$$

IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Parameter Skenario Simulasi

Penelitian ini menggunakan Network Simulator (NS-2) versi 2.35 yang diinstal pada sistem operasi Linux Ubuntu. Algoritma yang telah dimodifikasi diuji terhadap parameter tertentu untuk memastikan kinerja sistem yang optimal. Rincian mengenai parameter simulasi dapat dilihat pada Tabel 2 di bawah ini.

Tabel 2. Parameter Skenario Simulasi

Versi Network Simulator	NS-2.35
Jumlah node	15,35,55,75,95,115 node
Luas area simulasi	500m x 500m
Protokol routing	AOMDV
Lokasi Node	Random
Waktu simulasi	100 detik
Model Propagasi	Two-ray ground reflection
Energi Awal	200 joule
Jangkauan Transmisi	300 meter
Ukuran Paket	512 byte
Model Mobilitas	Waypoint

B. Hasil dan Analisis

Bagian ini menjelaskan hasil simulasi jaringan yang dilakukan menggunakan simulator NS-2 versi 2.35. Hasil simulasi disajikan dalam bentuk grafik berdasarkan parameter uji seperti konsumsi energi, *End-to-End Delay*, dan *Packet Delivery Ratio* (PDR). Nilai-nilai untuk parameter uji tersebut diperoleh dari *file trace* dengan memanfaatkan bahasa pemrograman AWK.

```
riskypram@LAPTOP-G5QU2F2D:/mnt/d/Awk$ awk -f energy-delay-pdr.awk PEO-AOMDV.tr
Packet Delivery Ratio : 94%
End-to-end Delay      : 500 detik
Consumption Energy   : 115 joule
```

Gambar 6. Hasil *file trace* PDR, *end-to-end delay* dan konsumsi kinergi pada PEO-AOMDV

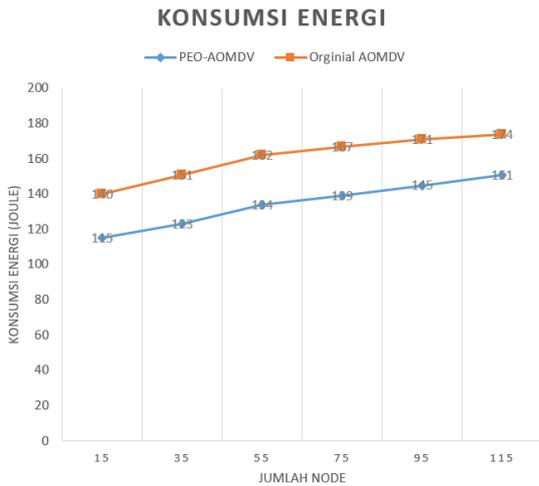
Pada Gambar 6, terlihat nilai dari hasil *file trace* PEO-AOMDV yang menunjukkan nilai PDR sebesar 94%, *end-to-end delay* sebesar 500 ms dan juga konsumsi energi sebesar 125 joule pada jumlah 15 node. Kemudian dengan cara yang sama dilakukannya pada variasi jumlah node yang telah disimulasikan pada skenario parameter yang dapat dilihat pada Gambar 8, Gambar 9 dan Gambar 10.

```
riskypram@LAPTOP-G5QU2F2D:/mnt/d/Awk$ awk -f energy-delay-pdr.awk AOMDV.tr
Packet Delivery Ratio : 83%
End-to-end Delay      : 317 detik
Consumption Energy   : 140 joule
```

Gambar 7. Hasil *file trace* PDR, *end-to-end delay* dan konsumsi kinergi pada AOMDV standar.

Pada Gambar 7 merupakan analisis file trace PEO-AOMDV pada Gambar 7, diperoleh nilai *Packet Delivery Ratio* (PDR) 83%, dengan *delay end-to-end* mencapai 317 ms, serta konsumsi energi 140 joule untuk simulasi menggunakan 15 node. Metode yang sama kemudian diterapkan pada berbagai skenario dengan jumlah node yang berbeda. Berikut grafik keseluruhan jumlah node dengan parameter uji meliputi konsumsi energi, *end-to-end delay* dan *Paket Delivery Rasio* (PDR) dapat dilihat pada Gambar 8, Gambar 9 dan Gambar 10 dibawah.

1) Konsumsi Energi

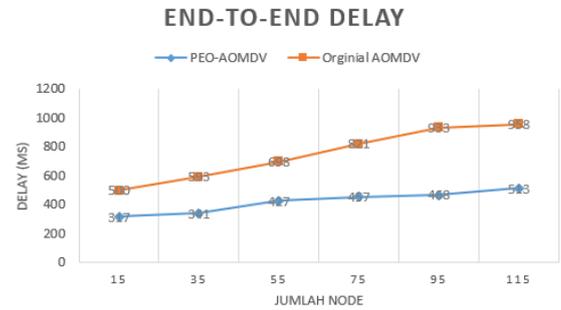


Gambar 8. Konsumsi Energi

Berdasarkan hasil simulasi pada Gambar 8, dapat terlihat bahwa diberikan energi awal sebesar 200 joule. Pada kepadatan 15 node, PEO-AOMDV mengkonsumsi energi sebesar 115 joule dibandingkan dengan AOMDV standar yang mengkonsumsi 140 joule, menunjukkan penghematan energi sebesar 17.86%. Efisiensi energi terus meningkat hingga mencapai puncaknya pada kepadatan 35 node dengan penghematan sebesar 18.54%, dimana PEO-AOMDV mengkonsumsi 123 joule dibandingkan AOMDV standar yang mengkonsumsi 151 joule. Seiring bertambahnya kepadatan node, protokol PEO-AOMDV tetap mempertahankan keunggulannya dalam efisiensi energi. Pada kepadatan 55 node terjadi penghematan 14.65%, dilanjutkan dengan 16.77% pada 75 node, 15.20% pada 95 node, dan 13.22% pada 115 node. Terlihat pula perbedaan yang signifikan antara protokol dengan algoritma PEO-AOMDV dan AOMDV standar dalam hal efisiensi penggunaan energi pada kepadatan 35 node. Penerapan PEO-AOMDV berhasil mengoptimalkan penggunaan energi dengan mengimplementasikan mekanisme pencarian rute berdasarkan kedekatan node dan energi yang dimiliki oleh setiap node. Protokol ini menghemat energi dengan memilih rute yang melibatkan node terdekat selama komunikasi dan mempertimbangkan energi node saat pemilihan. Sebaliknya, protokol

AOMDV standar tidak memiliki mekanisme optimasi serupa, sehingga menunjukkan konsumsi energi yang lebih tinggi, terutama ketika jumlah node meningkat.

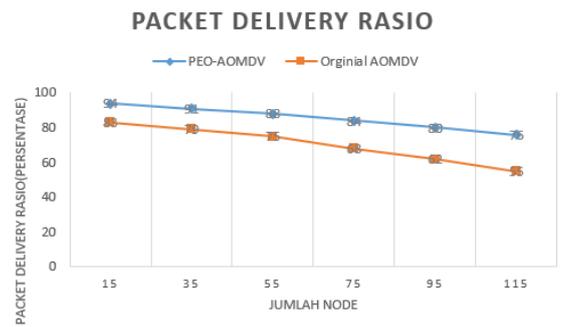
2) End-to-End Delay



Gambar 9. End-to-End Delay

Pada Gambar 9 terlihat bahwa nilai *end-to-end delay* berkurang pada berbagai tingkat kepadatan node dengan menggunakan protokol routing PEO-AOMDV. Pada tingkat kepadatan 15 node, 35 node, 55 node, 75 node, 95 node, dan 115 node secara berturut-turut mengalami penurunan *end-to-end delay* sebesar 36.6%, 42.5%, 38.8%, 44.3%, 49.8%, dan 46.5% dibandingkan dengan protokol original AOMDV. Pada rute-rute yang memiliki probabilitas keberhasilan yang lebih tinggi, protokol routing PEO-AOMDV memberikan kemampuan waktu yang lebih singkat ketika mentransmisikan data dibandingkan dengan protokol routing original AOMDV. Hal ini terjadi karena protokol routing PEO-AOMDV yang diusulkan mengoptimalkan pemilihan rute berdasarkan parameter energi dan jarak node dalam proses routingnya.

3) Packet Delivery Rasio



Gambar 10. Packet Delivery Rasio

Pada Gambar 10 menunjukkan bahwa nilai PDR untuk jaringan cenderung lebih tinggi pada protokol PEO-AOMDV dibandingkan dengan protokol Original AOMDV, khususnya pada berbagai tingkat kepadatan node. Pada kepadatan 15 node, 35 node, 55 node, 75 node, 95 node, dan 115 node, dengan persentase peningkatan sebesar 11%, 12%, 13%, 16%, 18%, dan 21%. Pada saat kepadatan 55 node hingga 115 node, protokol PEO-AOMDV dapat

memberikan persentase jarak nilai PDR dengan konsisten. Kestabilan ini disebabkan oleh kemampuan PEO-AOMDV dalam mengoptimalkan pemilihan rute berdasarkan parameter jarak node dan energi yang dimiliki setiap node yang dilewati untuk menemukan rute yang handal dan meminimalkan paket yang hilang, sementara Original AOMDV kurang efektif dalam menangani kepadatan jaringan yang semakin meningkat sehingga persentase pengiriman paket akan menurun.

V. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil pengujian dari skenario simulasi jaringan yang telah dilakukan, dapat disimpulkan bahwa protokol routing PEO-AOMDV memberikan penghematan konsumsi energi pada berbagai variasi kepadatan node yang diberikan yaitu pada 15, 35, 55, 75,95 dan 155 node, dengan rata-rata penghematan energi sebesar 16.04%. Penurunan rata-rata *end-to-end delay* sebesar 43.08% dibandingkan dengan AOMDV standar. Selain itu, protokol ini juga menunjukkan peningkatan PDR rata-rata juga lebih baik, yaitu 15,17%. Penerapan algoritma PEO-AOMDV menunjukkan kinerja yang cukup signifikan pada berbagai variasi kepadatan node. Hal ini disebabkan oleh pada saat proses pencarian rute, algoritma ini mempertimbangkan jarak antar node serta energi yang tersedia pada setiap node sehingga protokol PEO-AOMDV dan AOMDV standar menggunakan metode yang berbeda pada jumlah node yang makin meningkat.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] H. R. Sitorus, P. H. Trisnawan, and A. Basuki, "Pengaruh Model Mobilitas Terhadap Konsumsi Energi Protokol Routing Optimized Link State Routing (OLSR) Pada Mobile Ad Hoc Network (MANET)," ... *Inf. dan Ilmu Komput. e-ISSN*, vol. 5, no. 1, pp. 183–190, 2021, [Online]. Available: <http://j-ptiik.ub.ac.id/index.php/j-ptiik/article/download/8415/3889>
- [2] G. N, "Performance Evaluation of Multipath Routing Protocol (AOMDV) In Mobile Ad Hoc Networks," pp. 1–7, 2022, doi: 10.4108/eai.7-12-2021.2314973.
- [3] B. N. Hairani, A. Hidayat Jatmika, and F. Bimantoro, "Penerapan Algoritma EA-SHORT pada Protokol Routing AOMDV untuk Menemukan Rute yang Handal Berbasis Energi di Jaringan MANET," *J. Teknol. Informasi, Komputer, dan Apl. (JTika)*, vol. 3, no. 1, pp. 13–23, 2021, doi: 10.29303/jtika.v3i1.110.
- [4] A. Hidayat Jatmika and F. Bimantoro, "DAMPAK VARIASI MODEL PROPAGASI TERHADAP PROTOKOL ROUTING REAKTIF, PROAKTIF, DAN HYBRID DI JARINGAN VANET (STUDI KASUS KOTA BIMA) (Impact of Propagation Model Variations on Reactive, Proactive and Hybrid Routing Protocols in the VANET Network (Case Study o," vol. 3, no. 1, pp. 24–30, 2021, [Online]. Available: <http://jtika.if.unram.ac.id/index.php/JTIKA/>
- [5] S. Prasetyo, P. Hari Trisnawan, and F. Andri Bakhtiar, "Konsumsi Energi Menggunakan Protokol Routing Temporally Ordered Routing Algorithm (TORA) Pada Jaringan Mobile Ad-Hoc Network (MANET)," vol. 5, no. 6, pp. 2435–2442, 2021, [Online]. Available: <http://j-ptiik.ub.ac.id>
- [6] M. Tahboush, M. Adawy, and O. Aloqaily, "PEO-AODV: Preserving Energy Optimization Based on Modified AODV Routing Protocol for MANET," *Int. J. Adv. Soft Comput. its Appl.*, vol. 15, no. 2, pp. 263–277, 2023, doi: 10.15849/IJASCA.230720.18.
- [7] A. J. Man and A. Fin, "(RBO)Algorithm; Mobile," no. 2021, 2024.
- [8] P. Rute, M. Algoritma, and E. T. X. Dan, "Route Search Using ETX AND PA-SHORT Algorithm On AODV Routing Protocol In".
- [9] M. W. Anjani and H. Nurwarsito, "Pengaruh Pergerakan Node Pada Protokol Routing Dynamic Manet On Demand (DYMO) Dalam Mobile Ad-Hoc Network (MANET)," vol. 5, no. 1, pp. 105–114, 2021, [Online]. Available: <http://j-ptiik.ub.ac.id>
- [10] A. H. Jatmika, N. Alamsyah, and R. B. Huwae, "Analisis Perbandingan Konsumsi Energi Pada Protokol Routing Pa-Aomdv Dan Aomdv Standar Di Jaringan Manet," *J. Teknol. Informasi, Komputer, dan Apl. (JTika)*, vol. 5, no. 1, pp. 112–119, 2023, doi: 10.29303/jtika.v5i1.293.
- [11] T. Bona, H. Sitorus, P. H. Trisnawan, and R. A. Siregar, "Pengaruh Model Pergerakan Node terhadap Konsumsi Energi Protokol Routing Location Aided Routing (LAR) pada Mobile Ad Hoc Network (MANET)," vol. 4, no. 7, pp. 1979–1988, 2020.