



Optimasi Protokol LEACH Menggunakan PSO Pada Mobile Ad-Hoc Network

Afifah Dwi Ramadhani^{1*}, Alon Jala Tirta Segara², Aditya Wijayanto¹

¹ Fakultas Teknik Telekomunikasi dan Elektro, Teknik Telekomunikasi, Institut Teknologi Telkom Purwokerto, Purwokerto, Indonesia

² Fakultas Teknik Informatika, Rekayasa Perangkat Lunak, Institut Teknologi Telkom Purwokerto, Purwokerto, Indonesia
Email: ¹afifahdr@ittelkom-pwt.ac.id, ²alon@ittelkom-pwt.ac.id, ^{3,*}aditya@ittelkom-pwt.ac.id

Email Penulis Korespondensi: ¹afifahdr@ittelkom-pwt.ac.id

Abstrak– Mobile ad-hoc network adalah jaringan nirkabel dengan topologi dan rute komunikasi yang berubah-ubah. Di dalam jaringan MANET, node memiliki peran untuk mencari dan menangani rute ke setiap node dalam jaringan. Terdapat beberapa tantangan seperti bandwidth, daya, dan arah pergerakan dari node. Untuk mengatasi masalah tersebut, diperlukan protocol routing untuk menentukan rute dan memastikan paket yang dikirimkan berhasil sampai tujuan. Di dalam jaringan dengan skala yang besar, struktur perutean membutuhkan informasi rute yang berlebihan sehingga seringkali terjadi overhead. Kami menginvestigasi penggunaan protokol LEACH sebagai protocol dengan mekanisme hirarki untuk mengatasi overhead didalam jaringan. Penelitian yang diusulkan juga menambahkan algoritma PSO untuk mengoptimasi kinerja dari protocol LEACH. Metode penelitian menggunakan metode simulasi dan evaluasi model routing menggunakan Network Simulator. Evaluasi yang diprioritaskan pada penggunaan jenis trafik yaitu TCP dan UDP. Hasil menunjukkan bahwa trafik TCP memiliki nilai delay, packet loss, dan PDR yang lebih baik dibandingkan dengan trafik UDP ketika menggunakan protocol LEACH. Ketika ditambahkan algoritma PSO, nilai delay pada trafik TCP menurun 47%, nilai packet loss menurun 78%, dan nilai PDR juga meningkat 0,1%.

Kata Kunci: Delay; LEACH; MANET; PDR; PSO

Abstract– Mobile ad-hoc network is a wireless network with variable topology and communication routes. In a MANET network, nodes have the role of finding and handling routes to each node in the network. There are several challenges such as bandwidth, power, and direction of movement of nodes. A routing protocol is needed to determine the route and ensure that the packets sent successfully arrive at their destination to solve this problem. In large-scale networks, the routing structure requires redundant route information, resulting in frequent overhead. We investigated the use of the LEACH protocol as a hierarchical protocol to solve the network overhead. The proposed research also adds a PSO algorithm to optimize the performance of the LEACH protocol. The research method uses simulation methods and evaluation of routing models using Network Simulator. Evaluation is prioritized on the use of traffic TCP and UDP. The results show that TCP traffic has better delay, packet loss, and PDR values compared to UDP traffic when using the LEACH protocol. When the PSO algorithm is added, the delay value in TCP traffic decreases by 47%, the packet loss value decreases by 78%, and the PDR value also increases by 0.1%.

Keywords: Delay; LEACH; MANET; PDR; PSO

1. PENDAHULUAN

Mobile Ad-Hoc Network (MANET) adalah topologi jaringan nirkabel dimana node dan rute komunikasi yang dapat dipindahkan. MANET dapat digunakan tanpa memerlukan biaya dan waktu tambahan lebih lanjut karena setiap node berperan sebagai router. Node dalam jaringan bertanggung jawab untuk mencari dan menangani rute ke setiap node di dalam jaringan [1][2][1]. Router bergerak bebas secara random, dengan demikian topologi jaringan tanpa kabel mungkin dapat berubah dengan cepat dan tidak dapat diprediksi. MANET masih memiliki beberapa tantangan seperti bandwidth terbatas, daya yang terbatas, dan seringnya perubahan topologi karena adanya pergerakan dari node [2]. Untuk mengatasi pergerakan ini diperlukan suatu protokol routing yang digunakan untuk membangun rute antar node agar setiap node dalam jaringan dapat melakukan komunikasi di dalam jaringan.

Protokol routing memainkan peran penting dalam MANET untuk menentukan rute pengiriman paket dan memastikan bahwa paket-paket akan dikirim ke tujuan yang benar. Protokol-protokol ini diklasifikasikan sebagai berikut : proaktif , reaktif, dan hibrid. Diantara protokol tersebut , kategori protokol reaktif banyak digunakan karena bisa menentukan rute setiap kali diperlukan[3]. Protokol LEACH adalah protokol routing reaktif yang dibuat khusus untuk jaringan MANET. Protokol ini menawarkan adaptasi yang cepat terhadap kondisi link yang dinamis, proses yang rendah, rendahnya penggunaan jaringan dan menentukan pilihan rute ke tujuan dalam jaringan ad hoc. Dalam jaringan skala besar, struktur perutean membutuhkan informasi yang berlebihan. Untuk mengatasi masalah tersebut, struktur hirarki memiliki peran penting di dalam MANET untuk mengurangi overhead jaringan, meningkatkan reusability bandwidth, mengurangi konsumsi daya pada node [4]. LEACH memungkinkan node mobile untuk mendapatkan rute ke tujuan baru dengan cepat. Penelitian yang dilakukan di [5] membandingkan performansi antara protocol LEACH dan DSR. Berdasarkan penelitian [5] nilai end to end delay protokol routing DSR lebih besar jika dibandingkan dengan protokol routing LEACH seiring dengan bertambahnya jumlah node yang digunakan. Hal ini dikarenakan routing DSR mengalami proses pencarian jalur



lebih lama dan lebih panjang dibanding LEACH. Hal ini mengakibatkan rata-rata delay pada routing DSR lebih lama karena banyaknya hop yang ditempuh dari node sumber ke node tujuan[5]. Routing LEACH menanggapi RREQ pengiriman pertama yang diterima dan mengabaikan RREQ selanjutnya dari sumber node yang berbeda. Hal ini dapat mengurangi kemacetan dalam pencarian jalur menuju node tujuan sehingga dapat meminimalisasi delay[6]. [7] Sedangkan protokol routing DSR menanggapi semua RREQ yang datang, sehingga kemacetan tidak dapat dihindarkan yang menyebabkan delay semakin besar. Sedangkan untuk formasi random[8] peningkatan jumlah delay pada routing DSR sangat signifikan saat jumlah node bertambah mulai 13 sampai 21 node, hal ini dikarenakan jarak[1]. Selanjutnya penelitian di [9] membahas terkait perbandingan dari beberapa algoritma yaitu Lowest ID (LID), Highest Degree (HD), dan LEACH. Pada algoritma leach memiliki kelemahan dari sisi pemilihan *cluster head* berdasarkan nilai threshold akan tetapi memiliki kekurangan dari sisi waktu yang kurang efisien dan memerlukan energi yang lebih besar di setiap roundnya. Dari penelitian [10] algoritma LEACH masih memiliki kekurangan sehingga perlu dilakukan optimasi agar lebih optimal. Penelitian [11] mengusulkan terkait penggabungan antara routing LEACH dan DSR. LEACH digunakan untuk membentuk cluster dan routing DSR terkait manajemen untuk pencarian rute. Hasil menunjukkan bahwa nilai PDR mencapai 96%. Penelitian selanjutnya membahas tentang efisiensi energi menggunakan fuzzy pada MANET [12] dari hasil menunjukkan bahwa optimasi menggunakan fuzzy dapat menghemat konsumsi energi 86,67% dibandingkan dengan protocol LEACH. Penelitian selanjutnya membahas tentang optimasi protocol LEACH berdasarkan algoritma PSO dan AC (Ant Colony). Hasil penelitian menunjukkan bahwa PSO dapat meningkatkan pemilihan cluster head serta algoritma AC dapat mengoptimalkan pemilihan rutenya sehingga terjadi peningkatan efisiensi transmisi data dan energinya lebih hemat.

Pada penelitian ini kami melakukan observasi pada protocol LEACH di jaringan MANET. Penelitian ini berfokus pada proses transfer data menggunakan trafik TCP dan UDP antar node MANET dengan parameter yang diteliti adalah delay, packet loss, dan nilai packet delivery ration (PDR). Kami juga menambahkan algoritma PSO untuk melakukan optimisasi pada nilai parameter yang di ujikan agar mendapatkan perbandingan nilai terbaik.

2. METODOLOGI PENELITIAN

2.1 LEACH

LEACH protokol merupakan cluster-based protocol, dimana jumlah cluster head dan node yang dihasilkan menjadi parameter penting untuk mencapai kinerja yang lebih baik. Terdapat dua fase dalam protokol LEACH yaitu Setup Phase dan Steady Phase. LEACH mengatur node dalam cluster dengan satu node dari setiap kelompok bertugas sebagai cluster head[13]. LEACH secara acak memilih beberapa jumlah node yang telah ditetapkan sebagai cluster head kemudian mem-broadcast informasi tersebut ke semua node dan mengajak bergabung ke cluster head tersebut berdasarkan sinyal yang pasling kuat antara node dengan cluster head (cluster head yang terdekat dari node), dengan cara ini maka cluster tersebut terbentuk.

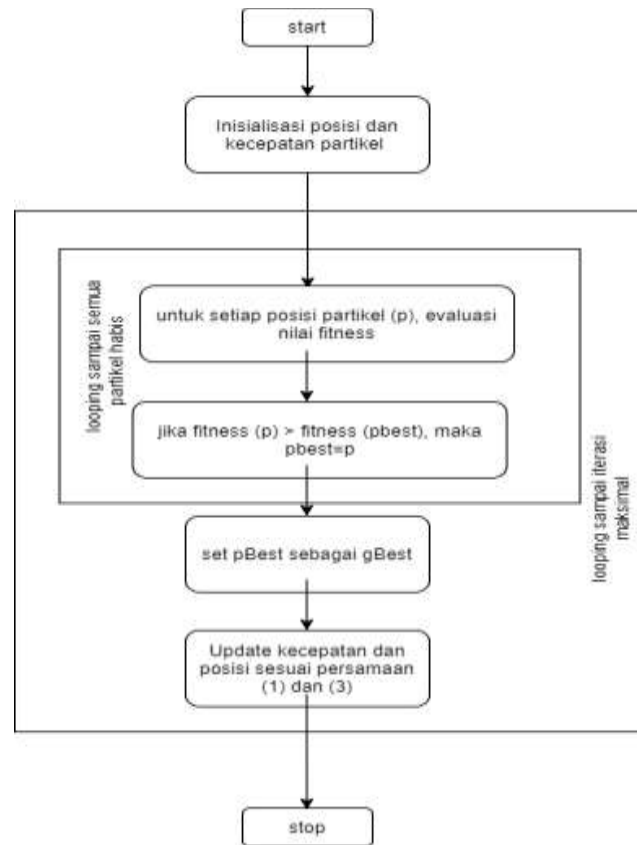
2.2 Particle Swarm Optimatation (PSO)

Particle Swarm Optimatation adalah algoritma yang diusulkan pertama kali oleh Kennedy dan Eberhart sebagai prosedur dalam mengoptimalkan masalah secara iterative. Dalam MANET, algoritma PSO memiliki perhitungan langsung untuk menemukan rute yang tepat agar informasi terkirim ke node tujuan. Pada algoritma PSO, inialisasi awal yaitu sekelompok partikel dan mencari solusi kandidat yang optimal dengan memperbaiki generasi. Selama pencarian kandidat yang optimal, [14] PSO berjalan melalui beberapa iterasi yang ditentukan dengan parameter untuk menentukan rute terbaik yang berada di dekat node tujuan untuk mengirimkan data dengan nilai *cost* yang rendah. Algoritma PSO secara signifikan mengurangi overhead lalu lintas dan kompleksitas komputasi. Skema PSO yang diusulkan mengurangi kegagalan rute antar node yang meminimalkan overhead perutean. Kecepatan setiap partikel (v) dan posisi (x) partikel dirumuskan seperti pada persamaan (2) dan persamaan (3). Algoritma PSO dapat digambarkan melalui Gambar 1.

$$v_{ij}(t+1) = w_{ij} + C_1 r_1 (pB_{ij}(t) - x_{ij}(t)) + C_2 r_2 (gB_{ij}(t) - x_{ij}(t)) \quad (1)$$

$$x_{ij}(t+1) = x_{ij}(t) + v_{ij}(t+1) \quad (2)$$

Dimana $v_{ij}(t+1)$ adalah kecepatan partikel i pada iterasi ke j , $x_{ij}(t+1)$ adalah posisi partikel i pada iterasi j , t adalah jumlah iterasi, w_{ij} adalah bobot untuk mengendalikan kecepatan sebelumnya, C_1 adalah *awareness learning factor*, C_2 adalah *gregarious learning factor*, r_1 dan r_2 adalah bilangan acak antara 0-1[15].



Gambar 1. Algoritma PSO

2.3 Packet Delivery Ratio (PDR)

Packet delivery ratio (PDR) adalah perbandingan jumlah paket yang dikirimkan secara total dengan jumlah total paket yang dikirim dari node sumber ke node tujuan dalam jaringan. PDR adalah factor yang penting untuk mengukur kinerja protocol routing jaringan apapun. Ketika nilai PDR meningkat maka kinerja jaringan juga meningkat [16][5][18]. Secara matematis, nilai PDR didefinisikan sesuai pada persamaan (3).

$$PDR = \frac{\text{jumlah paket yang diterima}}{\text{jumlah paket yang dikirim}} \times 100 \tag{3}$$

2.4 End-to-End Delay

End-to-End Delay adalah waktu yang dibutuhkan oleh paket untuk merutekan melalui jaringan dari sumber ke tujuan. Waktu penundaan paket bergantung pada rasio pengiriman paket. Ketika jarak antar sumber dan tujuan semakin jauh, maka kemungkinan besar akan terjadi paket drop yang meningkat pula [16][18]. Secara matematis, end-to-end delay dapat didefinisikan sesuai pada persamaan (4).

$$\text{End - to - end delay} = \text{receive time} - \text{sent time} \tag{4}$$

2.5 Packet Loss

Packet Loss adalah perbandingan jumlah paket yang tidak mencapai tujuan dengan jumlah paket yang berasal dari sumber [4][6]. Secara matematis, packet loss didefinisikan sesuai pada persamaan (5).

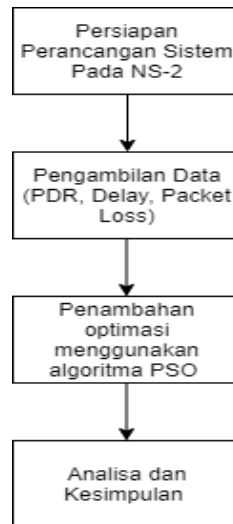
$$\text{Packet Loss} = \frac{\text{jumlah paket yang dikirim} - \text{jumlah paket yang diterima}}{\text{jumlah paket yang dikirim}} \tag{5}$$

2.6 Pemodelan Sistem

Pada penelitian ini, kami melakukan simulasi dari jaringan MANET menggunakan protocol routing LEACH. Adapun tahapan penelitian ditunjukkan pada Gambar 1. Pertama, kami melakukan persiapan untuk perancangan sistem sesuai pada parameter simulasi yang ditunjukkan di Tabel 1. Kami melakukan pengujian menggunakan dua jenis sumber trafik yang berbeda yaitu menggunakan traffic TCP dan traafic UDP. Jumlah node yang dibangkitkan pada simulasi ini bervariasi yaitu 15, 21, 30, dan 50 node. Node-node yang dibangkitkan akan bergerak secara random dimana posisi awal dari semua node juga dibangkitkan secara random. Pada scenario pertama, pengujian dilakukan untuk scenario tanpa optimasi untuk kedua trafik data. Selanjutnya kami melakukan implementasi algoritma optimasi PSO, algoritma PSO digunakan untuk mencari jalur tercepat agar data terkirim ke Base Station



sehingga dapat mengurangi nilai *delay*. Pada kedua scenario, kami melakukan pengambilan data berupa data *delay*, *packet delivery ratio*, dan *packet loss*.



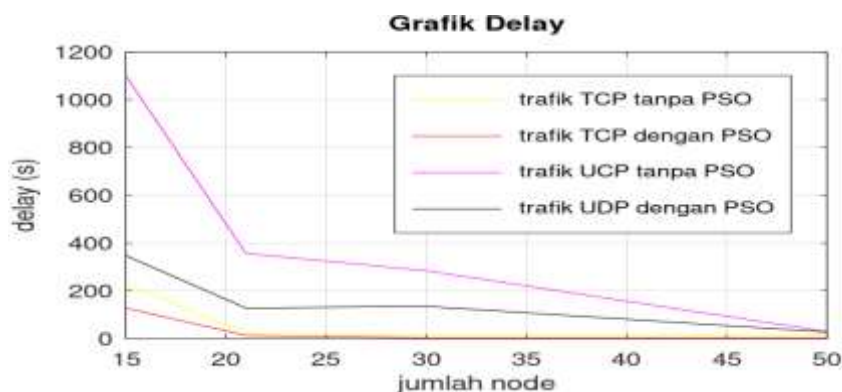
Gambar 2. Blok Diagram Penelitian

Tabel 1. Parameter Simulasi

Parameter	Keterangan
Simulator	10
MAC type	15
Waktu Simulasi	20
Tipe Frekuensi	VHF
Protokol routing	LEACH
Luas Area	5000 m x 5000 m
Jenis Traffic	TCP dan UDP
Jumlah Node	15,21,30,50
Model Propagasi	Two Ray
Ukuran Paket	400 bytes/packet

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

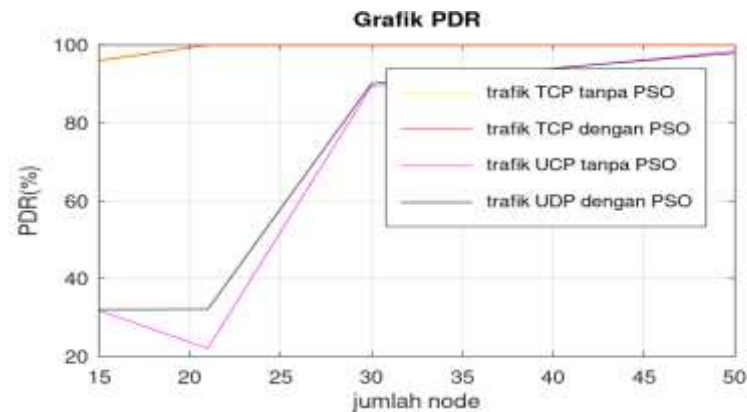
Pada sesi ini akan dijelaskan hasil uji coba dari skenario yang telah dirancang untuk mengetahui performansi protocol routing LEACH di jaringan MANET. Parameter yang ada kemudian dihitung dari perbandingan jenis trafik dan juga dilakukan optimisasi menggunakan algoritma PSO yang berdasarkan jumlah node, waktu simulasi dan luas area. Jenis trafik yang dibandingkan adalah TCP dan UDP dengan waktu simulasi 200 secon dan luas area $5000\text{ m}^2 \times 5000\text{ m}^2$. Gambar 3 menunjukkan nilai delay pada pengiriman kedua trafik, dari grafik nilai delay terkecil berada pada saat node berjumlah 50 node dengan trafik TCP yang sudah dioptimasi menggunakan algoritma PSO. Nilai pada delay pada trafik TCP lebih baik dibandingkan dengan trafik UDP. Hal tersebut terjadi karena pada UDP melakukan update tabel rute secara periodik, sehingga paket data harus menunggu lama untuk menemukan rute ke tujuan. Berbeda dengan TCP yang secara dinamis dapat menemukan rute tersendiri.



Gambar 3. Grafik Perhitungan Delay

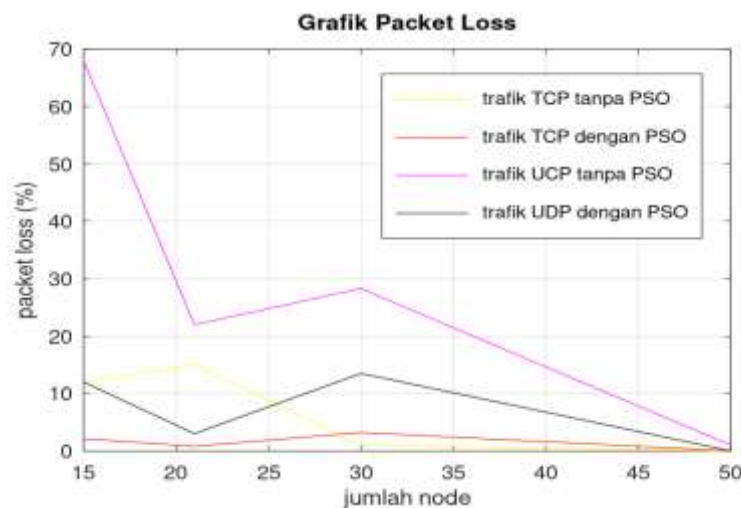


Dari grafik dapat diamati bahwa variasi kecepatan node mempengaruhi kinerja dari trafik UDP dikarenakan cara kerja trafik UDP yang melakukan broadcast tanpa adanya kontrol koneksi sehingga adanya paket yang gagal terkirim tidak dapat diketahui. Dibandingkan dengan trafik TCP yang memiliki kinerja dengan sebutan Three-Way-Handshake dan sebelum melakukan pengiriman data, pada trafik ini membangun koneksi terlebih dahulu antara node pengirim dan node sumber. Peningkatan keberhasilan pengiriman pada trafik TCP terjadi karena karakteristik TCP yang melakukan kontrol koneksi dimana jika ada paket yang gagal terkirim akan di kirimkan ulang. Dari Gambar 4 persentasi keberhasilan paket yang terkirim pada trafik TCP dibanding trafik UDP dengan persentasi TCP terbaik yaitu dengan nilai maksimal yaitu 98% dengan jumlah 50. Ketika jumlah node semakin bertambah maka prosentasi keberhasilan pengiriman juga semakin tinggi karena jumlah node mempengaruhi route pengiriman data. Selanjutnya kami melakukan optimisasi dan hasil menunjukkan bahwa terjadi perubahan nilai setelah dilakukan optimasi. Nilai PDR berhasil ditingkatkan dengan nilai PDR mendekati 100% karena paket yang dikirim dan yang diterima naik secara signifikan. Hal ini terjadi karena rute yang di optimisasi berpengaruh pada jumlah pengiriman data.



Gambar 4. Grafik dari perhitungan PDR

Gambar 5 menunjukkan nilai packet loss pada kedua trafik. Rata-rata nilai packet loss terhadap penambahan koneksi untuk TCP sebesar 7% dan UDP sebesar 29%. Jumlah packet loss terbesar pada trafik TCP terjadi ketika jumlah node sebesar 21 node dengan nilai packet loss sebesar 15% sedangkan pada trafik UDP terjadi ketika jumlah node sebesar 15 node dengan nilai packet loss sebesar 68%. Ketika jumlah node bertambah, nilai packet loss cenderung turun secara signifikan sesuai pada Gambar 5. Hal ini terjadi karena jumlah node yang ada menyebabkan optimalnya pengiriman. Setelah melakukan optimisasi menggunakan PSO nilai tersebut turun. Bisa dilihat pada gambar 5 dimana terjadi penurunan secara signifikan hingga menyentuh angka 0 yang berarti semua paket yang dikirim dapat diterima.



Gambar 5. Grafik Packet Loss

4. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian yang sudah kami lakukan, nilai trafik TCP memiliki kualitas yang lebih baik dibandingkan dengan trafik UDP dari sisi delay, PDR, dan packet loss. Hal ini terjadi karena UDP melakukan broadcast pesan tanpa adanya control koneksi sehingga jika ada paket yang tidak terkirim, maka tidak akan melakukan transmit ulang. Selanjutnya kami melakukan penambahan optimisasi menggunakan algoritma PSO, hasil



menunjukkan bahwa pada nilai delay terjadi penurunan delay sebesar 47% untuk trafik TCP sedangkan pada trafik UDP terjadi penurunan delay sebesar 64%. Pada nilai packet loss, terjadi penurunan nilai packet loss sebesar 78% untuk trafik TCP sedangkan pada trafik UDP mengalami penurunan packet loss sebesar 76%. Pada nilai PDR untuk trafik TCP mengalami peningkatan sebesar 0,1% sedangkan pada trafik UDP mengalami peningkatan sebesar 4%. Sehingga bisa disimpulkan bahwa PSO mampu untuk memberikan efisiensi dan kehandalan dalam pengiriman paket di dalam jaringan MANET. Untuk saran penelitian kedepannya bisa mempertimbangkan terkait efisiensi energi pada node, optimalisasi manajemen buffer, dan penyesuaian model sesuai pada kondisi lapangan. Terima kasih disampaikan kepada pihak-pihak yang telah mendukung terlaksananya penelitian ini.

REFERENCES

- [1] T. A. N. Abdali, R. Hassan, R. C. Muniyandi, A. H. M. Aman, Q. N. Nguyen, and A. S. Al-Khaleefa, "Optimized particle swarm optimization algorithm for the realization of an enhanced energy-aware location-aided routing protocol in manet," *Inf.*, vol. 11, no. 11, pp. 1–17, 2020, doi: 10.3390/info11110529.
- [2] S. Pathak and S. Jain, "An optimized stable clustering algorithm for mobile ad hoc networks," *Eurasip J. Wirel. Commun. Netw.*, vol. 2017, no. 1, 2017, doi: 10.1186/s13638-017-0832-4.
- [3] V. B. Kute and M. U. Kharat, "Analysis of Quality of Service for the AOMDV Routing Protocol," *Eng. Technol. Appl. Sci. Res.*, vol. 3, no. 1, pp. 359–362, 2013, doi: 10.48084/etasr.105.
- [4] M. G. K. Alabdullah, B. M. Atiyah, K. S. Khalaf, and S. H. Yadgar, "Analysis and simulation of three MANET routing protocols: A research on AODV, DSR & DSDV characteristics and their performance evaluation," *Period. Eng. Nat. Sci.*, vol. 7, no. 3, pp. 1228–1238, 2019, doi: 10.21533/pen.v7i3.717.
- [5] A. A. Antony and B. Thomas, "A Study on Packet Loss Reduction methods and Node Registration methods in AODV for MANET," *IOP Conf. Ser. Mater. Sci. Eng.*, vol. 396, no. 1, pp. 0–8, 2018, doi: 10.1088/1757-899X/396/1/012032.
- [6] B. M. Susanto, A. Hariyanto, and Surateno, "Performance comparison of proactive and reactive routing protocol in mobile ad hoc network," *J. Commun.*, vol. 13, no. 5, pp. 218–224, 2018, doi: 10.12720/jcm.13.5.218-224.
- [7] S. Manaseer and I. Alhabash, "Number of node estimation in mobile Ad hoc networks," *Int. J. Interact. Mob. Technol.*, vol. 11, no. 6, pp. 65–72, 2017, doi: 10.3991/ijim.v11i6.6986.
- [8] T. H. Sureshbhai, M. Mahajan, and M. K. Rai, "An Investigational Analysis of DSDV, AODV and DSR Routing Protocols in Mobile Ad Hoc Networks," *2018 Int. Conf. Intell. Circuits Syst.*, pp. 281–285, 2018, doi: 10.1109/ICICS.2018.00064.
- [9] M. Gavhale and P. D. Saraf, "Survey on Algorithms for Efficient Cluster Formation and Cluster Head Selection in MANET," *Phys. Procedia*, vol. 78, no. December 2015, pp. 477–482, 2016, doi: 10.1016/j.procs.2016.02.091.
- [10] A. Y. Prasad and R. Balakrishna, "Optimized energy efficient routing protocol for MANET using fuzzy score based clustering algorithm," *Int. J. Innov. Technol. Explor. Eng.*, vol. 8, no. 7, pp. 1921–1927, 2019.
- [11] A. Agrawal, D. Tiwari, S. Singh, M. Tech Scholar, and A. Dept of, "LEACH-DSR Base Routing For Minimization Energy Consumption in MANET," *Int. J. Sci. Res. Publ.*, vol. 4, no. 1, pp. 2250–3153, 2014, [Online]. Available: www.ijsrp.org.
- [12] S. Jiang, "LEACH Protocol Analysis and Optimization of Wireless Sensor Networks Based on PSO and AC," *Proc. - 2018 10th Int. Conf. Intell. Human-Machine Syst. Cybern. IHMSC 2018*, vol. 2, pp. 246–250, 2018, doi: 10.1109/IHMSC.2018.10163.
- [13] S. Tyagi, S. Som, and Q. P. Rana, "A Reliability based Variant of AODV in MANETs: Proposal, Analysis and Comparison," *Procedia Comput. Sci.*, vol. 79, pp. 903–911, 2016, doi: 10.1016/j.procs.2016.03.112.
- [14] Y. H. Robinson and M. Rajaram, "Energy-aware multipath routing scheme based on particle swarm optimization in mobile ad hoc networks," *Sci. World J.*, vol. 2015, 2015, doi: 10.1155/2015/284276.
- [15] P. R. Satav and P. M. Jawandhiya, "An Energy Efficient Route Selection in MANET with AOMDV Routing Algorithm," *Proc. 2018 3rd IEEE Int. Conf. Res. Intell. Comput. Eng. RICE 2018*, vol. 1, pp. 5–9, 2018, doi: 10.1109/RICE.2018.8509047.
- [16] R. A. Santos, A. Edwards, R. M. Edwards, and N. L. Seed, "Performance evaluation of routing protocols in vehicular ad-hoc networks," *Int. J. Ad Hoc Ubiquitous Comput.*, vol. 1, no. 1–2, pp. 80–91, 2005, doi: 10.1504/ijahuc.2005.008022.
- [17] M. K. U. Khan and K. S. Ramesh, "Effect on Packet Delivery Ratio (PDR) & Throughput in Wireless Sensor Networks Due to Black Hole Attack," *Int. J. Innov. Technol. Explor. Eng.*, vol. 8, no. 12S, pp. 428–432, 2019, doi: 10.35940/ijitee.I1107.10812s19.
- [18] A. J. T. Segara and A. Wijayanto, "Optimisasi Mobile Ad-Hoc Network dengan Algoritma Particle Swarm Optimization," *J. Media Inform. Budidarma*, vol. 5, no. 2, p. 468, 2021, doi: 10.30865/mib.v5i2.2636.