

ANALISIS KONSUMSI DAYA DAN *QUALITY OF SERVICE* PADA *MOBILE AD-HOC NETWORK* MENGGUNAKAN PROTOKOL AODV

Ade Salman^{1*}, Firmansyah Maulana², Rohmat Gunawan³

^{1,2,3}Universitas Siliwangi, Jl. Mugarsari, Kec. Tamansari, Kota Tasikmalaya, Jawa Barat 46196, Telp. (0265) 330634

Keywords:

MANET, AODV, QoS, NS-3, konsumsi energi.

Correspondent Email:

217006109@student.unsil.ac.id

Abstrak. Mobile Ad-hoc Network (MANET) merupakan jaringan nirkabel infrastrukturless yang memungkinkan perangkat berkomunikasi secara langsung melalui mekanisme multi-hop. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis performa jaringan MANET menggunakan protokol routing AODV berdasarkan parameter QoS dan konsumsi energi. Simulasi dilakukan menggunakan NS 3 dengan variasi jumlah node yaitu 20, 40, dan 60 node yang merepresentasikan kepadatan perangkat pada suatu wilayah. Komunikasi jaringan menggunakan WiFi IEEE 802.11b pada frekuensi 900 MHz dengan ukuran paket 512 byte dan waktu simulasi 1000 detik. Hasil simulasi menunjukkan bahwa peningkatan jumlah node menyebabkan penurunan nilai PDR dan throughput serta peningkatan delay dan jitter akibat meningkatnya kepadatan jaringan dan perubahan topologi. Pada skenario 20 node diperoleh PDR sebesar 92,44%, sedangkan pada 40 dan 60 node masing-masing sebesar 86,29% dan 84,68%. Pada konsumsi daya skenario energi awal ditetapkan 1000 joule menghasilkan 399.12 joule pada skenario 20 node dan pada skenario 40, 60 konsumsi daya menunjukkan nilai yang tidak jauh berbeda yaitu 40 node 857.47 joule dan 60 node 868.86 joule yang menunjukkan bahwa semakin banyak jumlah node semakin sedikit konsumsi daya yang digunakan. Hasil penelitian menunjukkan bahwa protokol AODV masih mampu mempertahankan komunikasi multi-hop dengan performa yang relatif stabil meskipun jumlah node meningkat.



Copyright © [JITET](http://www.jitet.org) (Jurnal Informatika dan Teknik Elektro Terapan). This article is an open access article distributed under terms and conditions of the Creative Commons Attribution (CC BY NC)

Abstract. Mobile Ad-hoc Network (MANET) is an infrastructureless wireless network that enables devices to communicate directly through a multi-hop mechanism. This study aims to analyze the performance of MANET networks using the AODV routing protocol based on QoS and energy consumption parameters. The simulation was conducted using NS 3 with variations in the number of nodes, namely 20, 40, and 60 nodes, representing the density of devices in a region. Network communication used IEEE 802.11b WiFi at a frequency of 900 MHz with a packet size of 512 bytes and a simulation time of 1000 seconds. The simulation results show that an increase in the number of nodes causes a decrease in PDR and throughput values and an increase in delay and jitter due to increased network density and changes in topology. In the 20-node scenario, PDR was 92.44%, while in the 40- and 60-node scenarios, it was 86.29% and 84.68%, respectively. In terms of power consumption, the initial energy scenario was set at 1000 joules, resulting in 399.12 joules in the 20-node scenario, and in the 40- and 60-node scenarios, power consumption showed values that were not much different, namely 857.47 joules for 40 nodes and 868.86 joules for 60 nodes, indicating that the more nodes there are, the less power consumption is used.

1. PENDAHULUAN

Bencana alam seperti longsor, atau banjir seringkali terjadi dimanapun dan kapanpun yang mengakibatkan infrastruktur telekomunikasi seperti menara seluler, kabel optic dan sumber daya listrik mengalami kerusakan [1], Kerusakan-kerusakan karena bencana alam dapat membuat seluruh sistem komunikasi terganggu bahkan sampai mati total hal tersebut sangat menyulitkan layanan-layanan penting seperti kordinasi tim penyelamat, peringatan dini atau pengiriman informasi darurat [2].

Mobile Ad-Hoc Network (MANET) diperlukan untuk memulihkan komunikasi secara cepat tanpa bergantung pada infrastruktur tetap, sehingga dapat membangun sebuah jalur komunikasi darurat dilokasi yang tidak memiliki sumber daya listrik dan infrastruktur komunikasi, Komunikasi di jaringan MANET sangat bergantung pada penggunaan energi dan kualitas layanan yang dihasilkan [3], Akses terhadap pengisian daya sangat terbatas dalam kondisi lokasi yang tidak memiliki sumber daya listrik, sehingga konsumsi energi harus di perhatikan secara serius [4], Selain konsumsi energi, komunikasi pada jaringan MANET harus memiliki *Quality of Service* (Qos) yang baik untuk memastikan terkirimnya informasi yang utuh sehingga dapat di kirim tanpa kehilangan paket yang banyak [5].

Beberapa protokol routing seperti *Destination-Sequenced Distance Vector* (DSDV) [6], *Optimized Link State Routing* (OLSR) [7], *AdHoc On-Demand Distance Vector* (AODV) [8], *Dynamic Source Routing* (DSR), di gunakan di berbagai penelitian untuk mengetahui konsumsi energi dan Qos di jaringan MANET [9][10].

Protokol OLSR unggul dalam menyediakan latensi rendah pada jaringan dengan mobilitas rendah, namun karena memerlukan pembaruan tabel rute yang konstan dan semua node menyimpan tabel rute secara berkala, sehingga penggunaan energi meningkat secara signifikan, protokol ini kurang efektif pada jaringan besar yang berubah cepat [11]. DSDV mempunyai kelebihan dalam kestabilan rute, tetapi kurang responsif terhadap perubahan topologi yang cepat dalam kondisi mobilitas

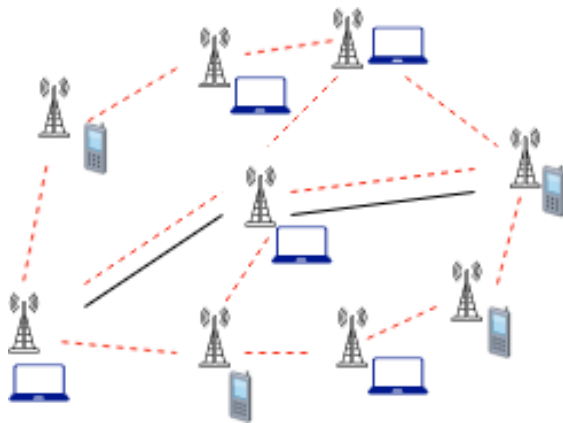
tinggi, rute yang tersimpan bisa usang yang menyebabkan *packet loss* tinggi dan *throughput* rendah [12],[13]. Protokol *Dynamic Source Routing* memiliki keunggulan untuk menyimpan banyak rute cadangan, tetapi membawa *overhead* pada *header* paket yang menyebabkan peningkatan konsumsi daya tinggi [14]. Protokol AODV merupakan protokol *on-demand* yang hanya membentuk rute saat dibutuhkan, dengan demikian, AODV cepat menyesuaikan diri pada perubahan topologi (mobilitas tinggi) tanpa membebani baterai node dengan trafik pembaruan rutin [15],[16].

Penelitian ini akan menganalisis konsumsi energi terpakai di setiap node dan kualitas layanan Qos pada jaringan MANET menggunakan protokol AODV (*Ad hoc On-demand Distance Vector*) dalam kondisi keterbatasan sumber daya listrik dan infrastruktur komunikasi. Simulasi menggunakan *network simulator 3* (NS3) yang di jalankan di sistem operasi linux ubuntu 21.04.2 dan dapat menyediakan model energi untuk perangkat bergerak dimana aplikasi simulator ini memberikan reproduktibilitas tinggi dan kompleksitas rendah dibandingkan dengan aplikasi simulasi lain [17],[18].

2. TINJAUAN PUSTAKA

2.1. MANET

Mobile Ad-Hoc Network (MANET) merupakan jaringan *Ad-Hoc* yang terdiri dari sejumlah node yang terhubung satu sama lain untuk memungkinkan pertukaran data [19]. MANET adalah teknologi jaringan nirkabel yang tidak bergantung pada infrastruktur tetap dan dapat membentuk jaringan secara otomatis dimana setiap node bergerak secara dinamis [20]. MANET dapat mengatur diri sendiri sehingga konfigurasi untuk pengiriman paket data dilakukan sendiri. Fitur-fitur ini membuat MANET menjadi jaringan yang tepat untuk situasi yang memerlukan pembangunan infrastruktur jaringan cepat dan sementara [21].

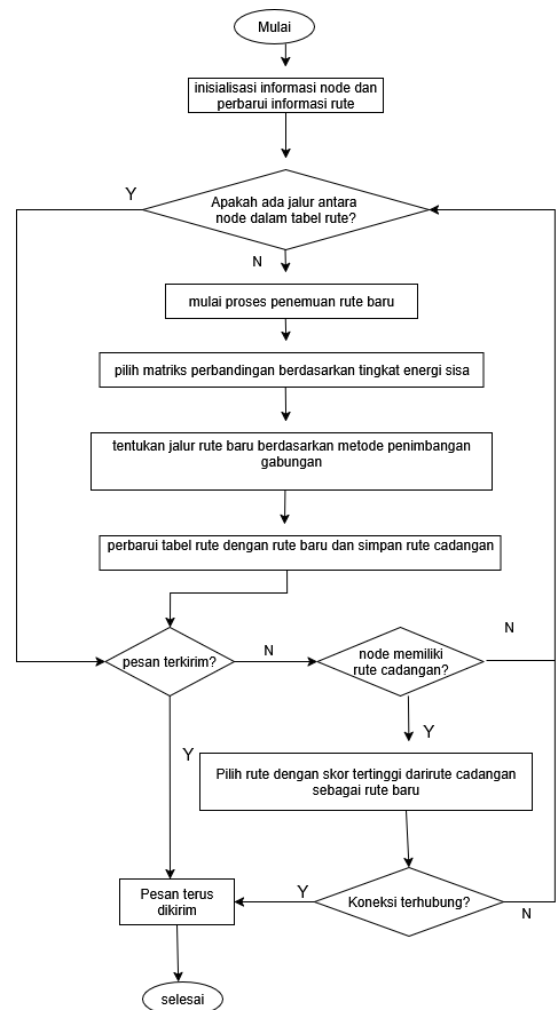


Gambar 2.1 Model Jaringan MANET[20]

Pada gambar 2.1 proses komunikasi dilakukan melalui node-node yang ada dan dilakukan agar memudahkan pertukaran informasi dalam kondisi infrastruktur yang minim dan energi yang terbatas.

2.2. Protokol AODV

Ad Hoc On Demand Distance Vector (AODV) adalah protokol routing yang digunakan pada jaringan MANET. Karena sifatnya yang reaktif, rute dapat dicari ketika ada permintaan rute [22]. Protokol ini mengelola informasi routing terbaru, Saat mengirim, menerima, atau meneruskan paket, node dianggap sebagai rute aktif. Proses penemuan dan perubahan rute dalam AODV dimulai jika ada sumber yang ingin menghubungi tujuan atau memerlukan informasi, AODV hanya mampu mempertahankan hubungan asimetris antara node sumber dan node tujuan. Alur yang digunakan oleh protokol AODV adalah penemuan rute dan pemeliharaan rute. Permintaan rute (RREQ) dan tanggapan rute (RREP) merupakan bagian dari penemuan rute dan Pembaruan rute, dan kesalahan rute (RERR) merupakan bagian dari pemeliharaan rute [23].



Gambar 2.2 Alur diagram protokol AODV[16]

Dalam protokol AODV, proses penemuan dan pemeliharaan rute didasarkan pada energi dan ketersediaan rute cadangan. Proses ini dimulai dengan inisialisasi node dan pembaruan tabel rute. Kemudian, jika jalur tersedia, sistem akan memilih rute baru berdasarkan sisa energi, kemudian memperbarui tabel rute dan menyimpan rute cadangan. Sistem akan mencoba menggunakan rute terbaik jika pengiriman pesan gagal. Setelah pesan dikirim dan sudah di terima, proses ini diulang.

2.3. QOS

Quality Of Service (QOS) adalah kemampuan untuk menjamin pengiriman arus data penting, atau kriteria kemampuan yang mengukur tingkat kepuasan penggunaan jaringan [24]. Parameter-parameter QoS antara lain *jitter*, *throughput*, *Delay* dan *Packet Loss*.

2.3.1 Jitter

Jitter menggambarkan variabilitas delay antar paket yang diterima dan sangat penting untuk stabilitas waktu pengiriman. Nilai jitter tinggi dapat menyebabkan paket datang tidak beraturan, sehingga menyebabkan buffering dan gangguan layanan [25].

2.3.2 Throughput

Throughput adalah ukuran jumlah data yang berhasil dikirim dari sumber ke tujuan dalam satuan waktu tertentu [26]. Throughput menjadi indikator utama seberapa efisien jaringan mampu memanfaatkan kapasitas transmisi yang tersedia.

2.3.3 Delay

Delay berperan krusial dalam memastikan data tiba tepat waktu. Pengiriman dengan delay besar dapat mengganggu paket data terkirim dengan cepat. Pada sebuah jaringan menekan pengurangan delay merupakan sebuah kunci untuk menjaga performa jaringan [27].

2.3.4 Packet loss

Packet loss menunjukkan persentase paket yang gagal sampai ke tujuan, yang berdampak langsung pada keandalan dan throughput jaringan. Tingkat kehilangan paket yang tinggi dapat disebabkan oleh tabrakan (collision) putus sambungan akibat mobilitas [28]. Packet lost dapat di hitung menggunakan rumus :

$$packet\ lost\ (\%) = \left(\frac{jumlah\ loss}{jumlah\ RX} \right) \times 100$$

Packet lost di hitung untuk mendapatkan persentase dari paket yang hilang setelah paket yang dikirimkan di awal.

2.4. Konsumsi Energi

Pada jaringan mobile Ad-Hoc, energi merupakan sumber daya terbatas karena setiap node bergantung pada baterai yang tidak dapat di isi ulang untuk komunikasinya [29]. Efetifitas energi bertujuan untuk mengurangi kegagalan node dan perubahan topologi juga mengurangi lifetime jaringan secara signifikan [30]. Pada penelitian ini daya energi yang di gunakan di dalam simulasi akan di konversi ke daya energi yang digunakan oleh perangkat asli. Energi yang dikonsumsi setiap node (dalam Joule) dapat dikaitkan dengan kapasitas baterai melalui hubungan dasar kelistrikan, dimana joule akan di konfigurasi ke dalam mAh menggunakan rumus :

$$mAh = \frac{E \times 1000}{V \times S}$$

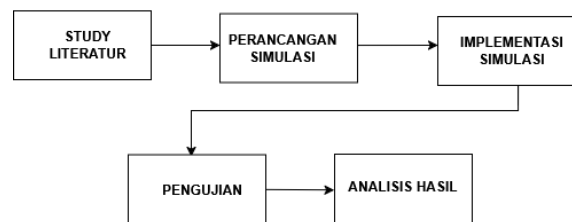
E merupakan energi dalam joule, V tegangan batre dalam Volt, S merupakan waktu dalam satuan detik, dan 1000 adalah konversi dari Ah ke mAh.

2.5. Network Simulator 3

Network Simulator 3 (ns-3) merupakan simulator jaringan open-source berbasis discrete-event yang dirancang khusus untuk kepentingan penelitian dan pendidikan dalam bidang jaringan komputer [31]. NS-3 memungkinkan pengguna melakukan pemodelan berbagai protokol dan teknologi jaringan juga mendukung integrasi dengan sistem nyata melalui mode real-time emulation, serta memungkinkan visualisasi hasil simulasi [32]. NS-3 dirancang agar mendekati lingkungan nyata dalam pemodelan jaringan, dilengkapi dengan dokumentasi lengkap dan dukungan komunitas global yang aktif [33].

3. METODE PENELITIAN

Penelitian ini dilakukan melalui beberapa tahapan yang bertujuan untuk menganalisis konsumsi daya dan QoS pada jaringan MANET menggunakan protokol AODV dalam kondisi pasca bencana alam yang membutuhkan pembangunan infrastruktur komunikasi yang cepat untuk sementara,



Gambar 3.1 Metode Penelitian

Pada gambar 3.3 penelitian ini diawali dengan mencari literatur terkait jaringan MANET, Setelah itu, tahap perancangan dilakukan untuk menentukan parameter simulasi dan skenario topologi jaringan. Tahap selanjutnya adalah implementasi simulasi jaringan MANET menggunakan NS3. Selanjutnya proses pengujian bertujuan untuk mengevaluasi kinerja protokol AODV pada jaringan MANET berdasarkan parameter konsumsi energi dan kualitas layanan (QoS). Tahap terakhir yaitu menganalisis hasil konsumsi energi dan layanan QoS untuk

membandingkan performa protokol AODV dalam kondisi yang telah di tentukan pada tahap perancangan dan menilai efektifitas konsumsi daya.

3.1 Study Litelatur

Tahapan ini bertujuan untuk memperkuat dasar teori dan memperjelas posisi penelitian dengan mengumpulkan serta mengkaji berbagai literatur ilmiah yang relevan.

3.2 Perancangan Simulasi

Tahap ini melakukan perancangan konfigurasi sesuai skenario penelitian. Simulasi dilakukan untuk merepresentasikan kondisi pasca bencana alam yang menyebabkan tidak ada sumber daya listrik dan infrastruktur komunikasi. Perangkat yang digunakan dalam penelitian meliputi perangkat keras berupa komputer yang menjalankan sistem operasi linux dan perangkat lunak berupa *network simulator 3* (NS3) yang sudah mendukung modul energi dan mobilitas. Perangkat yang digunakan di rangkum pada tabel 3.1

Tabel 3.1

Perangkat	Spesifikasi
Laptop/PC	- Prosesor: intel core i3 - RAM : 8 GB - OS : Ubuntu 24.04.2
software simulator	- NS 3.38 - Bahasa pemograman C++ - <i>energy-module</i> , <i>mobility-module</i>

Proses ini dimulai dari pemilihan platform, konfigurasi lingkungan simulasi, model mobilitas, hingga mekanisme pengukuran energi dan QoS.

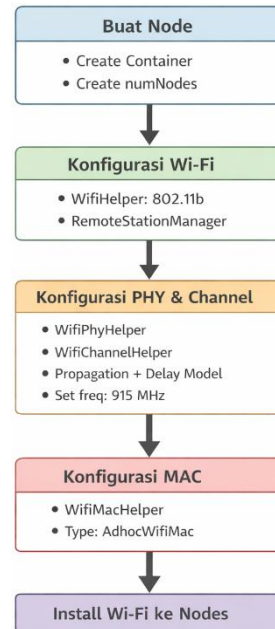
3.3 Implementasi Simulasi

Proses implementasi dimulai dari inialisasi node, konfigurasi fisik jaringan, pemasangan protokol routing, pengaturan mobilitas node, pemasangan aplikasi trafik, hingga pencatatan parameter energi dan QoS.

3.3.1 Pembuatan Node dan konfigurasi perangkat nirkabel

Jumlah node ditentukan melalui parameter *numNodes* yang di ubah-ubah sesuai kebutuhan node, setiap node merepresentasikan satu perangkat jaringan MANET yang di tempatkan di wilayah RW.

Pada NS3 Secara teknis node dibuat menggunakan objek *NodeContainer*. kemudian masing-masing node diberikan perangkat WiFi dengan mode *ad-hoc*. Standar WiFi yang digunakan adalah IEEE 802.11b 900MHz.

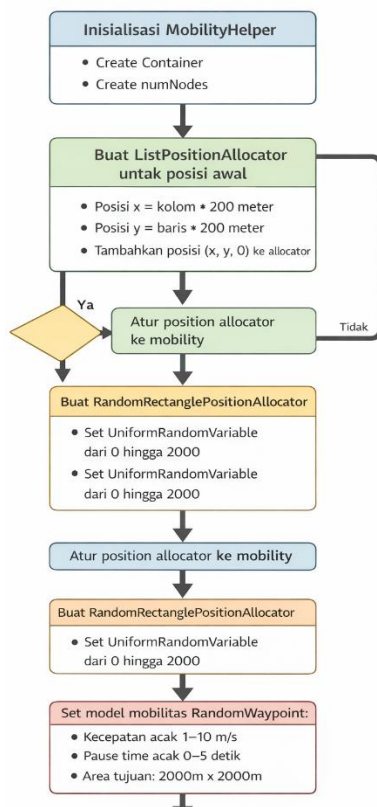


Gambar 3.2 Tahapan konfigurasi node dan perangkat nirkabel

Model penyebaran sinyal menggunakan *FriisPropagationLossModel*, yang menggambarkan pelemahan sinyal di ruang bebas, sedangkan delay propagasi menggunakan *ConstantSpeedPropagationDelayModel*. Mode *ad-hoc* dipilih karena sesuai dengan karakteristik MANET yang tidak menggunakan infrastruktur tetap.

3.3.2 Mobilitas dan posisi node

Tahap berikutnya adalah pengaturan posisi awal dan mobilitas node. Posisi awal node diatur menggunakan *ListPositionAllocator* dengan pola grid sederhana, sehingga setiap node memiliki jarak awal tertentu dengan node lainnya. Gambar 3.3 merupakan tahapannya



Gambar 3.3 Mobilitas dan Posisi node

Setiap node terlebih dahulu ditempatkan pada posisi awal yang tersusun secara teratur membentuk pola *grid*. Penempatan ini dilakukan menggunakan *ListPositionAllocator*, di mana koordinat X dan Y dihitung berdasarkan indeks node. Setelah posisi awal ditentukan, model mobilitas yang digunakan adalah *Random Waypoint Mobility Model*, pada model ini, setiap node bergerak menuju posisi tujuan yang dipilih secara acak dalam batas area tertentu dengan kecepatan yang juga dipilih secara acak antara 1 m/s hingga 10 m/s. Penggunaan *Random Waypoint* mencerminkan karakteristik jaringan MANET yang memiliki mobilitas tinggi dan tidak terstruktur.

3.3.3 Pengaturan energi node

Setiap node diberikan sumber energi menggunakan *BasicEnergySource* dengan energi awal sebesar 1000 Joule. Selanjutnya dipasang *WifiRadioEnergyModel* untuk menghitung konsumsi energi saat proses transmisi dan penerimaan data, setiap aktivitas komunikasi (Tx dan Rx) akan mengurangi energi node sesuai arus yang ditentukan. Data sisa energi inilah yang

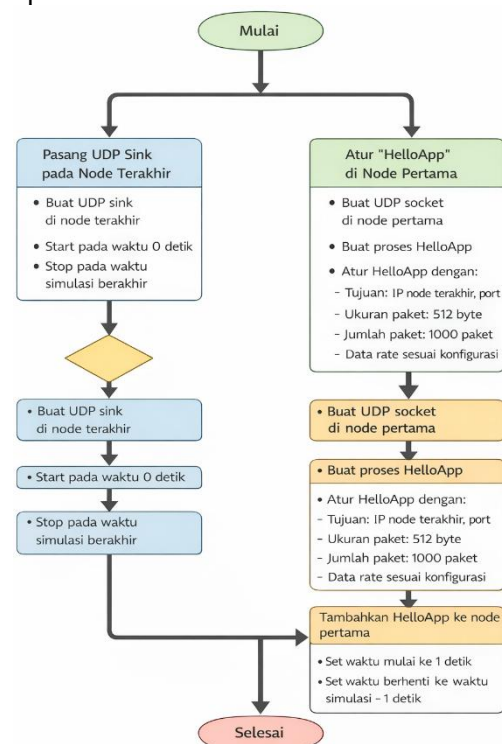
digunakan untuk menganalisis efisiensi penggunaan daya pada jaringan MANET.

3.3.4 Routing Protokol

Protokol routing yang digunakan adalah AODV Protokol ini bersifat reaktif, yaitu rute hanya dibangun ketika ada kebutuhan pengiriman data. Implementasi AODV dilakukan melalui *AodvHelper* yang dipasang ke seluruh node bersama dengan *Internet Stack*. Setelah *Internet Stack* terpasang, langkah selanjutnya adalah memberikan alamat IP kepada setiap perangkat WiFi (*NetDevice*) pada node.

3.3.5 Pemasangan Aplikasi trafik

Aplikasi trafik digunakan untuk membangkitkan komunikasi antar node. Node terakhir (node ke-N) bertindak sebagai penerima (*sink*), sedangkan node 0 bertindak sebagai pengirim menggunakan aplikasi kustom *HelloApplication* berbasis UDP. Gambar 3.4 merupakan tahapan pemasangan aplikasi trafik



Gambar 3.4 Pemasangan aplikasi trafik Sink dipasang menggunakan *PacketSinkHelper*. Aplikasi *PacketSink* dipasang pada node terakhir untuk bertindak sebagai penerima seluruh paket UDP yang dikirim oleh node sumber. *PacketSink* dibuat menggunakan *UdpSocketFactory* sehingga node tujuan mampu menerima paket dari

alamat IP mana pun selama port yang digunakan sesuai dengan konfigurasi. Aplikasi *sink* kemudian diinstal pada node ke-(N-1), yang berfungsi sebagai titik akhir komunikasi dalam skenario MANET. Aplikasi ini diaktifkan sejak waktu simulasi 0.0 detik hingga simulasi berakhir, sehingga node tujuan selalu berada dalam kondisi siap menerima trafik selama proses berlangsung.

3.3.6 Pencatatan Log

Pengaturan konfigurasi untuk mengukur QoS digunakan *FlowMonitor*, sedangkan untuk energi digunakan *BasicEnergySource*. *FlowMonitor* mencatat jumlah paket terkirim, diterima, *packet loss*, *throughput*, *delay*, dan *jitter*. Selanjutnya, dua berkas keluaran (*output file*) disiapkan untuk menyimpan hasil pengukuran *qos_metrics.csv* dan *energy_metrics.csv*. File pertama digunakan sebagai tempat penyimpanan seluruh hasil perhitungan QoS dari *FlowMonitor*, sedangkan file kedua digunakan untuk mencatat konsumsi energi dan sisa energi dari setiap node pada akhir simulasi.

3.4 Pengujian

Tahapan pengujian merupakan bagian penting dalam proses penelitian yang bertujuan untuk mengevaluasi kinerja protokol AODV pada jaringan MANET berdasarkan parameter konsumsi energi dan kualitas layanan (QoS). Pengujian dilakukan secara berulang dengan variasi parameter tertentu untuk melihat dampaknya terhadap konsumsi energi setiap node serta performa jaringan.

3.5 Analisis Hasil

Tahap terakhir dari penelitian ini adalah analisis hasil, yang bertujuan untuk mengevaluasi data yang telah diperoleh dan diolah pada tahap sebelumnya. Pada tahapan ini, seluruh hasil simulasi yang telah dikonversi dan disusun dalam bentuk tabel serta grafik akan dianalisis untuk mengetahui pola dan hubungan antara jumlah node, mobilitas, serta performa jaringan dalam konteks konsumsi daya dan kualitas layanan (QoS), seperti *delay*, *jitter*, *throughput*, *packet delivery ratio* (PDR), dan konsumsi energi yang akan di konversi dari satuan *joule* ke satuan mAh untuk melihat kecenderungan, stabilitas, dan kinerja protokol AODV

dalam berbagai skenario simulasi. Temuan-temuan yang diperoleh dari analisis ini kemudian akan digunakan sebagai dasar dalam penarikan kesimpulan.

4. HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil dan pembahasan untuk menganalisis QoS dan konsumsi energi di jaringan manet menggunakan protokol AODV di mulai dengan membuat sekenario simulasi, hasil pengujian dan hasil analisis.

4.1 Skenario Pengujian

supaya sesuai dengan kondisi lapangan yang ada, ketika di sebuah daerah terjadi bencana seperti banjir atau longsor yang mengakibatkan daerah rata tanpa ada bangunan dan membutuhkan infrastruktur komunikasi cepat tanggap. Adapun sekenario yang di uji pada tabel 4.1

Tabel 4.1 Skenario Uji

Skenario	Parameter Uji
Jumlah Node	20, 40, 60
Luas Simulasi	2000m x 2000m
Line of sight (LOS)	Area tanpa hambatan
Waktu simulasi	1000 detik
Mobilitas	<i>Random Waypoint</i>
Layer Komunikasi	Wifi(802.11b)
Frekuensi	900MHz
Aplikasi pengiriman	<i>Helloaplocation</i>
Modul energi	<i>BasicEnergySource</i> <i>WifiRadioEnergyModel</i>
Ukuran Paket	512 Byte

pada table 4.1 merepresentasikan kondisi desa padat penduduk seperti di Kabupaten Sidoarjo, dimana setiap desa memiliki rata-rata 20–50 Rukun Warga (RW) sehingga jumlah node yang diuji adalah 20, 40, dan 60 node sebagai representasi perangkat pada tiap RW. Area simulasi ditetapkan 2000m × 2000m untuk menggambarkan cakupan wilayah desa dan memungkinkan terbentuknya komunikasi multi-hop pada jaringan MANET. Model propagasi menggunakan *Line of Sight* (LOS) tanpa hambatan untuk menggambarkan kondisi darurat seperti bencana alam yang menghilangkan hambatan fisik, sementara mobilitas node dimodelkan menggunakan

Random Waypoint untuk merepresentasikan pergerakan perangkat yang dinamis. Simulasi dijalankan selama 1000 detik menggunakan komunikasi WiFi IEEE 802.11b dengan frekuensi 900 MHz yang memiliki jangkauan lebih luas untuk jaringan MANET. Trafik data dihasilkan oleh *HelloApplication* dengan ukuran paket 512 byte, sedangkan konsumsi energi dimodelkan menggunakan *BasicEnergySource* dan *WifiRadioEnergyModel* dengan energi awal 1000 joule untuk mengevaluasi performa QoS serta konsumsi energi pada berbagai kepadatan.

4.2 Hasil Pengujian

4.2.1 Qos

Hasil Pengujian Qos menunjukkan kualitas layanan jaringan MANET dengan skenario penambahan jumlah node di mulai dari 20, 40, dan 60 node sehingga dapat mengetahui jumlah node yang ideal digunakan di jaringan MANET dalam jangkauan jaringan skala desa dengan menggunakan protokol AODV. Berikut hasil rata-rata hasil pengujian pada tabel 4.2

Tabel 4.2 Rata-rata hasil pengujian

Jumlah Node	20	40	60
PDR	92.44%	86.29%	84.68%
Throughput (Kbps)	11.11	4.21	4.44
Delay(ms)	0.102342	0.158357	0.215147
Jitter(ms)	0.084098	0.126916	0.146384
Tx Paket	1000	1000	1000
Rx Paket	924	863	847
Paket loss	76	137	153

Berdasarkan tabel 4.2 hasil pengujian QoS, peningkatan jumlah node dari 20, 40, hingga 60 node mempengaruhi performa jaringan MANET. Pada skenario 20 node diperoleh performa terbaik dengan PDR 92,44%, *throughput* 11,11 kbps, *delay* 0,102342 ms, dan *jitter* 0,084098 ms, dimana dari 1000 paket yang dikirimkan 924 paket berhasil diterima dan 76 paket hilang. Ketika jumlah node meningkat menjadi 40 dan 60 node, nilai PDR dan *throughput*

cenderung menurun, sementara *delay* dan *jitter* meningkat, yang menunjukkan bahwa kepadatan jaringan yang lebih tinggi menyebabkan meningkatnya kemungkinan tabrakan paket, perubahan jalur komunikasi, serta ketidakstabilan waktu pengiriman paket.

4.2.2 Konsumsi Energi

Hasil Pengujian konsumsi energi menunjukkan daya yang dipakai di setiap node dalam melakukan proses komunikasi, skenario pengujian dilakukan dengan menambahkan jumlah node, jumlah node yang di uji yaitu 20,40 dan 60 dalam waktu 1000 detik. Terlihat pada tabel 4.3

Tabel 4.3 Rata- rata hasil pengujian energi

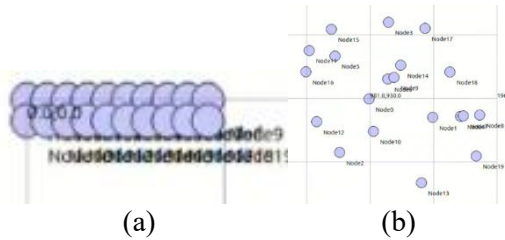
Jumlah Node	Energi awal	Konsumsi daya (J)	Sisa daya (J)
20	1000	399.12	600.66
40	1000	142.53	857.47
60	1000	131.14	868.86

Dari tabel hasil pengujian berbagai skenario di atas dapat di simpulkan bahwa untuk skenario 20 node rata-rata energi yang digunakan 399,12 joule dari energi awal 1000 joule lalu untuk skenario 40 node rata-rata energi yang digunakan 142,53 joule dari energi awal 1000 joule dan untuk skenario terakhir dengan jumlah node 60 menghasilkan rata-rata konsumsi energi 131,14 joule dari energi awal 1000 joule. Rata-rata konsumsi energi pada ketiga skenario tidak menunjukkan perbedaan yang signifikan karena trafik aplikasi yang digunakan bersifat tetap dan tidak meningkat seiring penambahan jumlah node.

4.3 Hasil Analisis

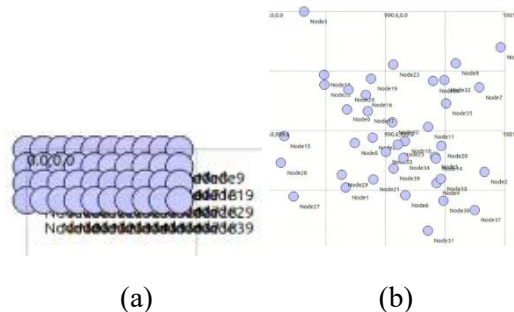
Hasil analisis membahas pergerakan node, alur komunikasi node, analisis QoS, analisis konsumsi daya dan perhitungan konsumsi daya dalam kondisi nyata.

4.3.1 Pergerakan node



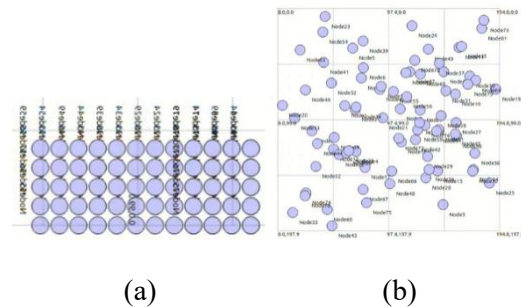
Gambar 4.1 Pergerakan 20 node

Pada skenario dengan 20 node di gambar 4.1 (a) posisi awal node ditempatkan secara terstruktur pada satu area yang bertujuan untuk memastikan seluruh node berada dalam jangkauan komunikasi pada awal simulasi sehingga proses pembentukan jaringan MANET dapat berlangsung dengan baik. Selanjutnya, pada gambar 4.1 (b) node bergerak menggunakan model mobilitas *RandomWaypointMobilityModel*, dimana setiap node memilih tujuan secara acak di dalam area simulasi kemudian bergerak menuju titik tersebut dengan kecepatan tertentu.



Gambar 4.2 Pergerakan 40 node

Pada gambar 4.10 (a) yang merupakan skenario 40 node, posisi awal seluruh node ditempatkan secara terstruktur dan berdekatan pada satu area, penempatan ini dilakukan agar pada awal simulasi seluruh node berada dalam jangkauan komunikasi, setelah simulasi berjalan pada gambar 4.10 (b), node mulai bergerak menggunakan model mobilitas *RandomWaypointMobilityModel*, sehingga topologi jaringan berubah secara dinamis dan jalur komunikasi antar node dapat berubah selama proses pengiriman paket berlangsung.

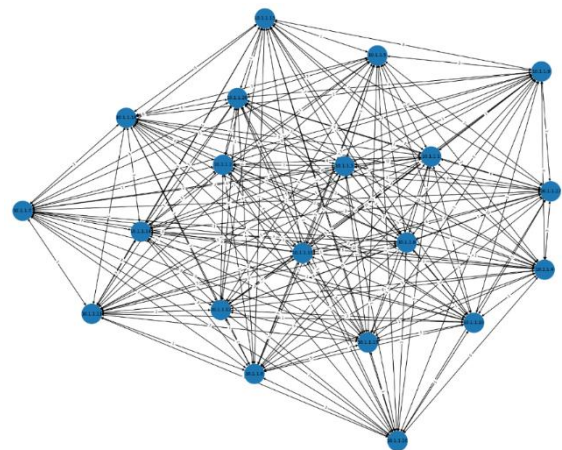


Gambar 4.3 pergerakan 20 node

Pada gambar 4.3 (a) skenario 60 node, posisi awal seluruh node ditempatkan secara terstruktur dan berdekatan pada satu area, Setelah simulasi berjalan, node bergerak menggunakan model mobilitas *RandomWaypointMobilityModel*, Pergerakan ini menyebabkan node yang awalnya terkonsentrasi pada satu area menjadi tersebar secara acak di seluruh area jaringan. Dengan jumlah node yang lebih banyak, kepadatan jaringan meningkat sehingga interaksi komunikasi antar node menjadi lebih kompleks dan menghasilkan kemungkinan jalur komunikasi yang lebih beragam dibandingkan skenario dengan jumlah node yang lebih sedikit.

4.3.2 Alur Komunikasi node

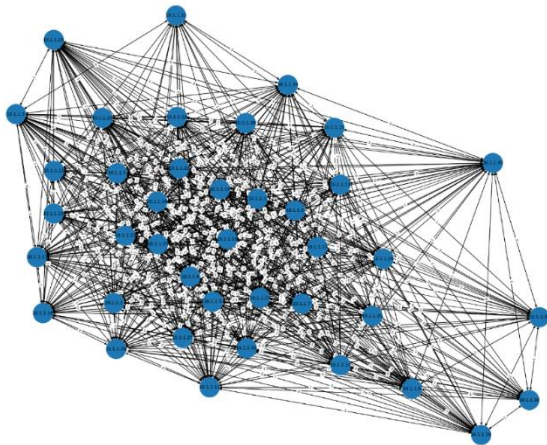
Pola alur komunikasi antar node pada jaringan MANET dengan protokol AODV untuk skenario 20, 40, dan 60 node. Setiap garis merepresentasikan hubungan komunikasi atau jalur forwarding paket antar node dalam jaringan multi-hop. Pada MANET.



Gambar 4.4 Alur komunikasi 20 node

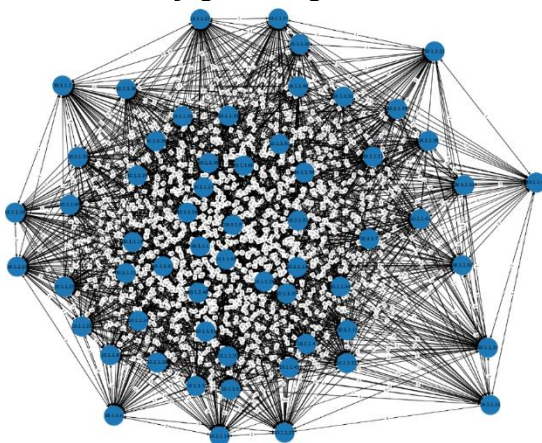
Pada gambar 4.4 skenario 20 node terlihat bahwa pola komunikasi antar node masih relatif sederhana dan tidak terlalu padat. Jalur

komunikasi yang terbentuk menunjukkan bahwa sebagian besar paket dikirim melalui beberapa node perantara (*multi-hop*) sebelum mencapai tujuan. Jumlah koneksi yang belum terlalu banyak menunjukkan bahwa beban routing AODV masih rendah. Proses *route discovery* dan *forwarding* paket berlangsung lebih efisien karena kemungkinan *collision* dan kontensi kanal masih kecil.



Gambar 4.5 Alur komunikasi 40 Node

Pada gambar 4.5 skenario 40 node terlihat peningkatan signifikan pada kepadatan jalur komunikasi. Garis koneksi antar node semakin banyak dan saling bersilangan, yang menandakan meningkatnya aktivitas *forwarding* paket dalam jaringan *multi-hop*. Dengan bertambahnya node, jumlah kemungkinan rute yang dapat dibentuk oleh protokol AODV juga meningkat.



Gambar 4.6 Alur skenario 60 node

Pada skenario 60 node terlihat jaringan menjadi sangat padat dan kompleks. Hampir seluruh node saling terhubung melalui berbagai jalur *multi-hop*, sehingga terbentuk pola komunikasi yang sangat rapat di bagian

tengah jaringan. Hal ini menunjukkan tingginya aktivitas *route discovery*, *flooding* RREQ (*Route Request*), serta *forwarding* paket oleh node-node perantara. Kepadatan yang tinggi menyebabkan kontensi kanal yang mungkin *collision* meningkat, sehingga protokol routing harus bekerja lebih keras untuk mempertahankan konektivitas.

4.3.3 Perhitungan dalam kondisi energi nyata

Konsumsi energi jaringan manet di kondisi nyata dilakukan melalui perhitungan agar hasil simulasi lebih mudah dipahami. Rata-rata Energi dari tiga skenario tersebut dalam satuan Joule dikonversi ke satuan mAh (*milliampere-hour*).

Konsumsi energi (*joule*) ke mAh :

$$mAh = \frac{224.26}{3.7 \times 3.6} = 16.83mAh$$

Sisa energi (Joule) ke mAh :

$$mAh = \frac{775.74}{3.7 \times 3.6} = 58.22 mAh$$

Estimasi konsumsi energi selama simulasi setara dengan penggunaan baterai *li-ion* sebesar 61mAh dan sisa energi 17 mAh pada tegangan 3,7 V.

Karena simulasi hanya dijalankan selama 1000 detik, maka dilakukan estimasi konsumsi energi untuk periode waktu 1 hari (86400 detik) dengan asumsi pola penggunaan yang konstan.

Estimasi konsumsi energi (mAh) dalam satu hari :

$$E_{hari} = 224.26 \times \frac{86400}{1000} = 19372.22 \text{ Joule}$$

Konversi ke mAh :

$$E_{hari} = \frac{19372.22}{3.7 \times 3.6} = 1454.6 mAh$$

Perhitungan tersebut menghasilkan konsumsi energi 1.45 Ah/hari, dengan kapasitas baterai 20.000 mAh dapat mencukupi untuk penggunaan penuh komunikasi jaringan dalam 13 hari. Batrai yang cocok untuk digunakan dalam kondisi nyata adalah batrai Li-ion 3,7 V 20.000 mAh. Menunjukkan bahwa jika pola komunikasi jaringan MANET berlangsung secara terus-menerus selama satu hari penuh, maka konsumsi energi akan meningkat secara signifikan.

5. KESIMPULAN

- a. protokol AODV mampu membangun dan mempertahankan jalur komunikasi secara dinamis pada jaringan dengan topologi yang berubah akibat mobilitas node. Hasil pengujian *Quality of Service* (QoS) menunjukkan bahwa peningkatan jumlah node menyebabkan penurunan performa jaringan, yang ditandai dengan menurunnya nilai *Packet Delivery Ratio* (PDR) dan *throughput* serta meningkatnya *delay* dan *jitter*. Penurunan performa tersebut terutama dipengaruhi oleh bertambahnya jumlah hop, meningkatnya *overhead routing*, serta frekuensi perubahan rute pada jaringan MANET yang semakin padat.
- b. konsumsi daya menunjukkan bahwa rata-rata energi yang digunakan pada skenario 20 lebih besar di bandingkan dengan skenario 40, dan 60 node yang relatif tidak jauh berbeda. Kondisi ini disebabkan oleh karakteristik protokol AODV yang bersifat *on-demand*, sehingga hanya node yang terlibat langsung dalam jalur komunikasi yang mengalami peningkatan konsumsi energi, sementara node lainnya cenderung berada pada kondisi *idle*. Konversi energi dari satuan *Joule* ke mAh serta estimasi penggunaan energi harian menunjukkan bahwa konsumsi energi jaringan cukup signifikan apabila sistem dioperasikan secara terus menerus, sehingga pada implementasi nyata diperlukan kapasitas baterai yang memadai untuk mendukung operasi jaringan MANET dalam jangka waktu yang panjang.

Penelitian selanjutnya disarankan untuk menganalisis pada aspek keamanan jaringan MANET. Mengingat karakteristik MANET yang bersifat terbuka, terdistribusi, dan tanpa infrastruktur tetap, jaringan ini sangat rentan terhadap berbagai jenis serangan seperti *black hole*, *wormhole*, maupun *denial of service*. Oleh karena itu, perlu dilakukan penelitian lanjutan yang mengintegrasikan mekanisme keamanan pada protokol routing, baik melalui autentikasi node, enkripsi data, maupun penerapan protokol routing aman.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada pihak-pihak terkait yang telah memberi dukungan terhadap penelitian ini.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] I. M. Selim, N. S. Abdelrehem, W. M. Alayed, H. M. Elbadawy, and R. A. Sadek, "MANET Routing Protocols' Performance Assessment Under Dynamic Network Conditions," *Applied Sciences (Switzerland)*, vol. 15, no. 6, Mar. 2025, doi: 10.3390/app15062891.
- [2] P. Hari Trisnawan, "Pengaruh Model Mobilitas Terhadap Konsumsi Energi Protokol Routing Optimized Link State Routing (OLSR) Pada Mobile Ad Hoc Network (MANET)," 2021. [Online]. Available: <http://j-ptiik.ub.ac.id>
- [3] Z. A. Younis, A. M. Abdulazeez, S. S. R. M. Zeebaree, R. R. Zebari, and D. Q. Zeebaree, "Mobile Ad Hoc Network in Disaster Area Network Scenario; A Review on Routing Protocols," *International journal of online and biomedical engineering*, vol. 17, no. 3, pp. 49–75, 2021, doi: 10.3991/ijoe.v17i03.16039.
- [4] V. K. Quy, V. H. Nam, D. M. Linh, and L. A. Ngoc, "Routing Algorithms for MANET-IoT Networks: A Comprehensive Survey," Aug. 01, 2022, *Springer*. doi: 10.1007/s11277-022-09722-x.
- [5] A. H. Jatmika, N. Alamsyah, and R. B. Huwae, "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)," 2023. [Online]. Available: <http://jtika.if.unram.ac.id/index.php/JTIKA/>
- [6] P. Kanani *et al.*, "Improving QoS of DSDV protocol to deliver a successful collision avoidance message in case of an emergency in VANET," *Soft comput.*, 2023, doi: 10.1007/s00500-023-08766-w.
- [7] O. E. Ogodo, "Design and Simulation of an Optimized Link State Routing Mobile Network," *NIPES - Journal of Science and Technology Research*, vol. 3, no. 4, pp. 297–313, Nov. 2021, doi: 10.37933/nipes/3.4.2021.30.
- [8] P. Pandey and R. Singh, "Efficient Ad Hoc On Demand Distance Vector Routing Protocol Based on Route Stability in MANETs," *Int. J. Wirel. Inf. Netw.*, vol. 29, no. 3, pp. 393–404, Sep. 2022, doi: 10.1007/s10776-022-00570-x.
- [9] H. Riadika, P. Hari Trisnawan, and R. Andria Siregar, "Pengaruh Rekayasa Tingkat Energi

- Routing Protocol Dynamic Source Routing (DSR) pada Mobile Ad Hoc Network (MANET)," 2022. [Online]. Available: <http://j-ptiik.ub.ac.id>
- [10] U. Srilakshmi, N. Veeraiah, Y. Alotaibi, S. A. Alghamdi, O. I. Khalaf, and B. V. Subbayamma, "An improved hybrid secure multipath routing protocol for MANET," *IEEE Access*, vol. 9, pp. 163043–163053, 2021, doi: 10.1109/ACCESS.2021.3133882.
- [11] I. M. Selim, N. S. Abdelrehem, W. M. Alayed, H. M. Elbadawy, and R. A. Sadek, "MANET Routing Protocols' Performance Assessment Under Dynamic Network Conditions," *Applied Sciences (Switzerland)*, vol. 15, no. 6, Mar. 2025, doi: 10.3390/app15062891.
- [12] I. M. Selim, N. S. Abdelrehem, W. M. Alayed, H. M. Elbadawy, and R. A. Sadek, "MANET Routing Protocols' Performance Assessment Under Dynamic Network Conditions," *Applied Sciences (Switzerland)*, vol. 15, no. 6, Mar. 2025, doi: 10.3390/app15062891.
- [13] B. Safitri, R. Adawiyah, A. H. Jatmika, and R. B. Huwae, "OPTIMASI PROTOKOL ROUTING DSDV MENGGUNAKAN ALGORITMA TIME PREDICTION PADA JARINGAN MANET (OPTIMIZATION OF DSDV ROUTING PROTOCOL USING TIME PREDICTION ALGORITHM IN MANET NETWORK)," 2025.
- [14] A. J. T. Segara, A. Wijayanto, M. A. Gustalika, and A. D. Ramadhani, "Implementasi Mobile Ad-Hoc Network Pada Daerah Pasca Bencana Dengan Protokol DSR," *JURIKOM (Jurnal Riset Komputer)*, vol. 9, no. 4, p. 834, Aug. 2022, doi: 10.30865/jurikom.v9i4.4508.
- [15] Q. Razouqi, A. Boushehri, M. Gaballa, L. Alsaleh, and M. Abbod, "Extended Comparison and Performance Analysis for Mobile Ad-Hoc Networks Routing Protocols Based on Different Traffic Load Patterns and Performance Metrics," *Electronics (Switzerland)*, vol. 13, no. 14, Jul. 2024, doi: 10.3390/electronics13142877.
- [16] Y. Jiang, H. Sun, and M. Yang, "AODV-EOCW: An Energy-Optimized Combined Weighting AODV Protocol for Mobile Ad Hoc Networks," *Sensors*, vol. 23, no. 15, Aug. 2023, doi: 10.3390/s23156759.
- [17] Q. Razouqi, A. Boushehri, M. Gaballa, L. Alsaleh, and M. Abbod, "Extended Comparison and Performance Analysis for Mobile Ad-Hoc Networks Routing Protocols Based on Different Traffic Load Patterns and Performance Metrics," *Electronics (Switzerland)*, vol. 13, no. 14, Jul. 2024, doi: 10.3390/electronics13142877.
- [18] A. Kurniawan, P. Kristalina, and M. Z. S. Hadi, "Performance Analysis of Routing Protocols AODV, OLSR and DSDV on MANET using NS3," in *IES 2020 - International Electronics Symposium: The Role of Autonomous and Intelligent Systems for Human Life and Comfort*, Institute of Electrical and Electronics Engineers Inc., Sep. 2020, pp. 199–206. doi: 10.1109/IES50839.2020.9231690.
- [19] P. Pandey and R. Singh, "Efficient Ad Hoc On Demand Distance Vector Routing Protocol Based on Route Stability in MANETs," *Int. J. Wirel. Inf. Netw.*, vol. 29, no. 3, pp. 393–404, Sep. 2022, doi: 10.1007/s10776-022-00570-x.
- [20] T. Legesse, D. W. Girmaw, E. Yitayal, and E. Admassu, "Energy aware stable path ad hoc on-demand distance vector algorithm for extending network lifetime of mobile ad hoc networks," *PLoS One*, vol. 20, no. 4 April, Apr. 2025, doi: 10.1371/journal.pone.0320897.
- [21] T. Saravanan and S. Saravanakumar, "Energy efficient optimization algorithms for MANET," in *ACM International Conference Proceeding Series*, Association for Computing Machinery, Aug. 2023, pp. 572–579. doi: 10.1145/3607947.3608061.
- [22] A. H. Jatmika, S. P. Waskito, and A. Zubaidi, "Implementasi Algoritma Pemilihan Node Tetangga Terbaik Pada Protokol Routing DSR di Jaringan MANET (Implementation of the Best Neighboring Node Selection Algorithm on DSR Routing Protocol in MANET)," 2022. [Online]. Available: <http://jcosine.if.unram.ac.id/>
- [23] Y. Jiang, H. Sun, and M. Yang, "AODV-EOCW: An Energy-Optimized Combined Weighting AODV Protocol for Mobile Ad Hoc Networks," *Sensors*, vol. 23, no. 15, Aug. 2023, doi: 10.3390/s23156759.
- [24] I. Nurrobi and R. Adam, "PENERAPAN METODE QoS (QUALITY OF SERVICE) UNTUK MENGANALISA KUALITAS KINERJA JARINGAN WIRELESS," 2020.
- [25] F. Saputra, B. Cut, and F. Nilamsari, "Analisis Perbandingan Tiga Software Terhadap Pengukuran Quality Of service (QoS) Pada Pengukuran Jaringan Wireless Internet," vol. 2, no. 1, p. 33, 2023.
- [26] M. Iqbal, H. Fitriawan, and D. Kurniawan, "Simulasi Kinerja Web Server Pada Jaringan LAN (Local Area Network) Kampus Menggunakan NS2 (Network Simulator 2) 1,*," 2022.
- [27] G. Megiyanto and I. Fadillah, "Sistem Komunikasi Jaringan Wireless Menggunakan

- Raspberry Pi Dengan Arsitektur Delay Tolerant Network,” 2020.
- [28] I. Istiqlalia, N. Fahriani, and A. Hafizh Tantri, “ANALISIS KUALITAS LAYANAN INTERNET WLAN PADA BIZNET DENGAN MENGHITUNG DELAY, THROUGHPUT, DAN PACKET LOSS UNTUK MENGIDENTIFIKASI PENYEBAB HAMBATAN INTERNET BERDASARKAN QUALITY OF SERVICE (QOS),” 2023.
- [29] T. Legesse, D. W. Girmaw, E. Yitayal, and E. Admassu, “Energy aware stable path ad hoc on-demand distance vector algorithm for extending network lifetime of mobile ad hoc networks,” *PLoS One*, vol. 20, no. 4 April, Apr. 2025, doi: 10.1371/journal.pone.0320897.
- [30] Faiz Amzadkhan, Fajar Primantara, and Hari Trisnawan, “Konsumsi Energi Protokol Routing Zone Routing Protocol (ZRP) Pada Mobile Ad-Hoc Network (MANET),” 2021.
- [31] M. R. V Anupriya, S. Sangavi, P. C. Shivani, and P. V. Dharany, “An Efficient Approach for Vehicle Traffic Monitoring by Collaborating Vehicular Mobility Module and Network Simulator 3,” 2020.
- [32] N. Asri Ainun Gani, dan F. Farniawati, and S. Selatan, “Analisis Perbandingan Pengaruh Penggunaan Software Simulator Jaringan Berbasis Cisco Packet Tracer Dan Graphical Network Simulator Dalam Pengembangan Jaringan Enterprise,” vol. 2, no. 4, pp. 289–294, 2021.
- [33] J. Deepika, L. Rangaiah, and S. Jeyabalan, “A novel approach to AODV for energy efficient routing mechanism to control power consumption in MANET,” *International Journal of Engineering Trends and Technology*, vol. 69, no. 8, pp. 206–210, Aug. 2021, doi: 10.14445/22315381/IJETT-V69I8P225.