

ANALISIS PERFORMA WIRELESS SENSOR NETWORK DENGAN PROTOKOL MULTI HOP DAN SINGLE HOP

Buyung Herfandy Maay*¹⁾, Indrastanti Ratna Widiyari²⁾

1. Universitas Kristen Satya Wacana, Indonesia
2. Universitas Kristen Satya Wacana, Indonesia

Article Info

Kata Kunci: Efisiensi energi; Multi Hop; Single Hop; Throughput; Wireless Sensor Network

Keywords: Energy efficiency; Multi-Hop; Single-Hop; Throughput; Wireless Sensor Network

Article history:

Received 3 June 2024

Revised 10 July 2024

Accepted 16 August 2024

Available online 1 September 2024

DOI :

<https://doi.org/10.29100/jupi.v9i3.4917>

* Corresponding author.

Corresponding Author

E-mail address:

672019109@student.uksw.edu

ABSTRAK

Wireless Sensor Networks (WSN) dalam IoT memungkinkan pengumpulan data dari lingkungan sekitar, namun menghadapi tantangan jarak, jumlah node, dan daya baterai terbatas. Penelitian ini menganalisis WSN dengan protokol *Multi Hop* dan *Single Hop* melalui simulasi. Metode penelitian melibatkan studi literatur, perancangan model jaringan, dan analisis performa. Hasilnya menunjukkan Protokol *Multi Hop* (AODV) dengan *throughput* tinggi pada jumlah node 30 sebesar 269,38 kbps untuk pengiriman data cepat, sedangkan Protokol *Single Hop* (*Cluster Head*) lebih baik dalam pengiriman paket pada jumlah node 30, protokol *Single Hop* memiliki PDR sebesar 99,81%. Hal ini dikarenakan protokol *Single Hop* tidak melibatkan transfer data melalui node perantara. Darisegi konsumsi energi, protokol *Single Hop* memiliki konsumsi energi sebesar 2595,72 Joule pada jumlah node 30. Protokol *Single Hop* lebih efisien berkat pengelompokan dimana node-node di dalam satu kelompok hanya perlu berkomunikasi dengan node cluster head. Hal ini dapat mengurangi frekuensi komunikasi antar node dan, pada akhirnya, mengurangi konsumsi energi. Secara umum, protokol *Single Hop* lebih unggul daripada protokol *Multi Hop* dalam hal PDR, packet loss, dan konsumsi energi. Namun, protokol *Multi Hop* dapat memiliki keunggulan dalam hal *throughput* pada aplikasi WSN dengan jumlah node yang kecil dan jarak komunikasi yang jauh. Penelitian ini menunjukkan bahwa pemilihan protokol WSN harus disesuaikan dengan kebutuhan aplikasi dan lingkungan.

ABSTRACT

Wireless Sensor Networks (WSNs) in the Internet of Things (IoT) enable data collection from the surrounding environment but face challenges of distance, number of nodes, and limited battery power. This study analyzed WSNs with Multi-Hop and Single-Hop protocols through simulation. The research methods involved a literature review, network model design, and performance analysis. The results showed that the Multi-Hop protocol (AODV) had a higher throughput of 269.38 kbps for fast data delivery at 30 nodes, while the Single-Hop protocol (Cluster Head) was better at packet delivery. The Single-Hop protocol had a Packet Delivery Ratio (PDR) of 99.81% at 30 nodes. This is because the Single-Hop protocol does not involve data transfer through intermediate nodes. In terms of energy consumption, the Single-Hop protocol had an energy consumption of 2595.72 Joules at 30 nodes. The Single-Hop protocol is more efficient thanks to clustering, where nodes within a group only need to communicate with the cluster head. This can reduce the frequency of communication between nodes and, ultimately, reduce energy consumption. In general, the Single-Hop protocol is superior to the Multi-Hop protocol in terms of PDR, packet loss, and energy consumption. However, the Multi-Hop protocol can have an advantage in terms of throughput for WSN applications with a small number of nodes and long communication distances. This study showed that the selection of a WSN protocol must be tailored to the needs of the application and environment.

I. PENDAHULUAN

DALAM beberapa tahun terakhir, teknologi Internet of Things (IoT) telah mencapai puncak kepopulerannya. IoT adalah jaringan yang menghubungkan objek fisik ke internet. Objek-objek tersebut dapat berupa perangkat, sensor, atau alat lainnya yang dapat mengumpulkan dan mengirimkan data. Data yang dikumpulkan dari objek-objek tersebut kemudian dapat digunakan untuk berbagai keperluan, seperti pemantauan, kontrol, dan analisis.[1]. Salah satu komponen kunci dari ekosistem IoT ini adalah *Wireless Sensor Network* (WSN), yang memungkinkan pengumpulan data dari lingkungan sekitar[2]. WSN adalah jaringan sensor yang menggunakan komunikasi nirkabel untuk menghubungkan node sensor. Node sensor adalah perangkat kecil yang dapat mengumpulkan data dari lingkungannya. Data yang dikumpulkan dari node sensor kemudian dapat dikirim ke sink, yaitu perangkat yang berfungsi untuk mengumpulkan dan memproses data. WSN memiliki karakteristik unik, seperti skala besar, sumber daya terbatas (seperti daya, kapasitas komputasi, dan kapasitas penyimpanan), dan lingkungan yang dinamis [3-4]. Sensor-sensor dalam WSN memiliki berbagai aplikasi, termasuk pemantauan lingkungan, pertanian, dan kesehatan. Dalam pemantauan lingkungan, sensor-sensor WSN dapat digunakan untuk mengukur kualitas udara, kualitas air, dan keanekaragaman hayati. Dalam pertanian, sensor-sensor WSN dapat digunakan untuk memantau kondisi tanaman, pemberantasan hama dan penyakit, dan penggunaan air. Dalam kesehatan, sensor-sensor WSN dapat digunakan untuk memantau pasien secara jarak jauh, pelayanan kesehatan jarak jauh, dan pendeteksian penyakit secara dini. Sensor-sensor WSN memiliki potensi untuk memberikan dampak yang signifikan dalam ketiga bidang ini[5-7].

Namun, WSN juga menghadapi beberapa tantangan yang dapat memengaruhi kinerjanya, seperti jarak antara node, jumlah node, jenis protokol yang digunakan, dan terbatasnya daya baterai. Dua masalah utama yang sering dihadapi oleh jaringan WSN adalah keterbatasan daya baterai dan jarak antar node. Keterbatasan daya baterai menjadi tantangan utama dalam WSN karena sensor-sensor dalam jaringan ini biasanya menggunakan baterai dengan kapasitas terbatas. Beberapa faktor yang turut memengaruhi konsumsi daya melibatkan frekuensi transmisi data, dimana semakin sering data ditransmisikan, semakin besar konsumsi daya yang dibutuhkan. Selain itu, jarak transmisi juga menjadi faktor krusial, di mana semakin jauh jarak transmisi, semakin besar pula konsumsi daya yang diperlukan oleh sensor-sensor dalam jaringan ini. Jarak antar node memengaruhi ketersediaan dan stabilitas koneksi dalam jaringan. Dalam lingkungan yang luas, di mana jarak antar node bisa signifikan, perlu dipertimbangkan apakah menggunakan metode *multi hop* atau *single hop* lebih sesuai[6].

Untuk mengatasi masalah ini, berbagai protokol telah diusulkan dan diimplementasikan, termasuk protokol *Multi Hop* dan *Single Hop*. Protokol *Multi Hop* memungkinkan node sensor untuk berkomunikasi melalui beberapa lompatan melalui node tetangga, sedangkan protokol *Single Hop* melibatkan komunikasi langsung antara node sensor dan sink node (node penerima data)[5].

Perbandingan antara protokol *Multi Hop* dan *Single Hop* menjadi relevan dan krusial dalam konteks mengoptimalkan kinerja WSN. Pemilihan protokol memiliki dampak signifikan terhadap aspek kunci seperti *throughput*, *packet delivery ratio* (PDR), *packet loss*, dan *energy consumption*. *Throughput* menjadi parameter penting yang mengukur kemampuan jaringan untuk mentransfer data dengan kecepatan tertentu, sementara PDR memberikan indikasi tentang kualitas jaringan dan performa protokol routing dalam mengirimkan paket dengan akurat. *Packet loss*, di sisi lain, mencerminkan kejadian ketika paket data tidak berhasil sampai ke tujuan selama proses transmisi. Efisiensi energi, menjadi aspek krusial mengingat keterbatasan daya baterai pada sensor-sensor WSN. Pemilihan protokol *Multi Hop*, seperti AODV, dan protokol *Single Hop*, seperti LEACH, memerlukan pertimbangan cermat terhadap karakteristik dan kebutuhan aplikasi spesifik WSN. Protokol *Multi Hop* cenderung meningkatkan *throughput* dengan memungkinkan transfer data yang lebih cepat melalui beberapa lompatan sensor. Di sisi lain, protokol *Single Hop* dapat unggul dalam PDR dan efisiensi energi dengan memanfaatkan konsep pengelompokan (*clustering*).

Meskipun ada upaya untuk mengatasi masalah ini dengan menggunakan protokol yang berbeda, belum ada kejelasan apakah salah satu protokol lebih baik daripada yang lain dalam semua situasi. Pertanyaan mendasar tentang kapan harus menggunakan protokol *Multi Hop* dan kapan harus menggunakan protokol *Single Hop* masih menjadi perdebatan. Penelitian ini menjadi sangat penting terutama dalam mengatasi dua aspek yang signifikan yaitu jarak antar node dan keterbatasan daya. Jarak antar node memiliki dampak langsung terhadap *throughput*, PDR, dan konsumsi energi dalam jaringan. Dengan mempertimbangkan variasi jarak antar node dalam simulasi, penelitian ini memberikan wawasan mendalam tentang bagaimana performa Protokol *Multi Hop* dan Protokol *Single Hop* dapat dipengaruhi oleh faktor ini.

Dalam rangka mencapai tujuan penelitian, analisis performa *Wireless Sensor Network* (WSN) dengan

menerapkan protokol *Multi Hop* dan *Single Hop* akan dilakukan melalui simulasi komputer. Metode penelitian ini dipilih karena memberikan fleksibilitas untuk memvariasikan parameter, seperti jumlah node, jarak antar node, dan kapasitas daya baterai, sehingga memungkinkan pemahaman yang lebih baik tentang kinerja relatif kedua protokol dalam berbagai situasi. Tujuan penelitian ini adalah untuk menganalisis kinerja WSN dengan penggunaan protokol *Multi Hop* dan *Single Hop*. Analisis dilakukan melalui simulasi dengan variasi parameter seperti jumlah node, jarak antar node, dan kapasitas daya baterai. Harapan penelitian ini adalah untuk mendapatkan pemahaman yang lebih baik tentang kinerja masing-masing protokol dan solusi yang paling cocok untuk setiap situasi. Analisis performa WSN ini juga diharapkan dapat memberikan panduan berharga bagi pengguna jaringan WSN untuk mengoptimalkan penggunaannya dan meningkatkan efisiensinya.

II. METODE PENELITIAN

Metode penelitian ini terdiri dari tiga tahap utama :

A. Studi Literatur

Tahap pertama melibatkan studi literatur yang komprehensif untuk memahami konsep, protokol, dan tren terkait analisis performa *Wireless Sensor Network* (WSN) dengan protokol *multi hop* dan *single hop*, serta mengidentifikasi parameter performa yang relevan.

Dalam konteks WSNs, terdapat dua metode komunikasi yang signifikan, yaitu *Multi Hop* dan *Single Hop*. *Multi Hop* adalah metode di mana sensor-sensor dalam jaringan berinteraksi secara bertahap melalui beberapa hop atau lompatan, memungkinkan data untuk dikirimkan dari satu titik ke titik lainnya melalui beberapa sensor perantara. Meskipun *Multi Hop* memungkinkan jangkauan komunikasi yang lebih luas, namun perlu diingat bahwa metode ini dapat mempengaruhi latensi dan konsumsi energi dalam jaringan. Di sisi lain, *Single Hop* adalah metode di mana data dikirimkan secara langsung dari sensor pengirim ke sensor penerima tanpa melibatkan sensor perantara. *Single Hop* memiliki keunggulan dalam mengurangi latensi dan konsumsi energi, tetapi memiliki jangkauan komunikasi yang terbatas karena bergantung pada jarak maksimal antara sensor pengirim dan penerima. Kedua metode ini memiliki kelebihan dan keterbatasan masing-masing, yang sangat bergantung pada kebutuhan aplikasi WSN yang digunakan[4].

Selain metode komunikasi, penting untuk memahami protokol routing yang digunakan dalam WSNs. Salah satu protokol routing yang relevan adalah *Ad-Hoc On Demand Distance Vector* (AODV). AODV adalah protokol routing ad-hoc yang sederhana, efisien, dan tidak bergantung pada topologi tetap. Protokol ini mengoptimalkan penggunaan bandwidth nirkabel dengan memantau kondisi link secara terus-menerus. Jika terjadi kerusakan atau putusannya koneksi, node terhubung akan mengirim pemberitahuan ke seluruh jaringan, dan informasi tentang rute yang rusak akan disebarkan melalui pesan RERR. Pengirim kemudian dapat mengirim pesan RREQ untuk menemukan rute baru[8].

Selain AODV, protokol routing clustering juga berperan penting dalam WSN, dengan LEACH (Low Energy Adaptive Clustering Hierarchy) menjadi salah satu yang cukup terkenal. Dalam LEACH, node sensor dikelompokkan ke dalam cluster, di mana setiap cluster memiliki satu node pemimpin (cluster-head) dan node lainnya sebagai anggota cluster (non-cluster heads). Node-node ini mengumpulkan informasi dari lingkungan sekitarnya dan mengirimkannya ke node pemimpin cluster. Node pemimpin cluster mengelompokkan data yang diterima, melakukan kompresi, dan mengirimkan data yang telah digabungkan ke *sink/base station*. Selain LEACH, terdapat juga protokol routing clustering turunan yang diklasifikasikan berdasarkan berbagai kriteria seperti efisiensi energi, jarak, energi sisa, *single hop*, dan *Multi Hop*[9-10].

Adapun penelitian terdahulu yang menjadi acuan adalah penelitian yang dilakukan oleh Igor Novid (2019) yang menggunakan simulator jaringan NS-2 untuk menganalisis dan membandingkan kinerja protokol routing di WSN, seperti LEACH (*Low Energy Adaptive Clustering Hierarchy*), SPIN (*Sensor Protocols for Information via Negotiation*) dan DD (*Directed Diffusion*). Hasil penelitian ini menyimpulkan bahwa waktu tunda dalam transfer data masih dapat ditoleransi untuk transfer data di WSNs, tetapi dapat menjadi masalah jika WSNs mulai mentransmisikan data video. Oleh karena itu, penelitian menunjukkan bahwa penelitian lebih lanjut diperlukan untuk meningkatkan kinerja protokol routing di WSN. Studi ini juga menemukan bahwa protokol SPIN memiliki waktu tunda terendah 0,16 ms, diikuti oleh protokol DD dengan waktu tunda 0,18 ms, dan protokol LEACH dengan waktu tunda mulai dari 0,3 ms hingga 0,42 ms[11].

Penelitian lain yang menjadi acuan dalam penelitian yang dilakukan adalah penelitian oleh Taufik Rachman (2022) yang melakukan analisis perbandingan performa dan efisiensi energi antara dua protokol routing dalam

Wireless Sensor Networks (WSNs), yaitu *Data Centric SPIN* dan *Directed Diffusion*. Dilakukan analisis komparatif untuk mengevaluasi performa dan efisiensi energi dari kedua protokol tersebut. Penelitian ini menggunakan metode simulasi jaringan dengan perangkat lunak Network Simulator 2 (NS 2) untuk menghasilkan parameter jaringan. Parameter yang dievaluasi meliputi *throughput*, *end-to-end delay*, *packet delivery ratio*, konsumsi energi, dan *node life time*[12]. Hasil penelitian menunjukkan bahwa *directed diffusion* memiliki kinerja lebih baik, dengan *throughput* mencapai 1281,184 Kbps, *end-to-end delay* sekitar 65,8975 ms, dan *packet delivery ratio* mencapai 100%. Sementara itu, SPIN menonjol dalam efisiensi energi dengan tingkat 28,91%[13].

Dari tinjauan tersebut, penelitian sebelumnya telah melakukan simulasi serta analisis performa WSN dengan berbagai metode, seperti yang dilakukan oleh Taufik Rachman (2022) yaitu pengukuran *throughput*, *packet delivery ratio*, konsumsi energi dan *node lifetime* dengan protokol yang berbeda yaitu SPIN dan DD. Adapun penelitian yang dilakukan oleh Igor Novid (2019) terhadap protokol LEACH hanya melakukan pengukuran *delay*. Penelitian ini dapat melanjutkan penelitian sebelumnya namun, menggunakan jenis protokol dan skenario dengan parameter yang berbeda untuk menganalisis performa protokol pada WSN. Protokol yang digunakan pada penelitian berbeda dengan penelitian sebelumnya oleh Taufik Rahman (2022) namun dengan beberapa parameter yang sama. Penelitian ini menggunakan AODV (*Ad-Hoc On Demand Distance Vector*) dan LEACH (*Low Energy Adaptive Clustering*) dengan mempertimbangkan faktor - faktor yang mempengaruhi performa jaringan, seperti kapasitas jaringan, topologi, dan jenis protokol yang digunakan. Selain itu, penelitian ini juga dapat menguji performa protokol dengan menggunakan metode yang sama seperti penelitian sebelumnya, yaitu pengukuran *throughput*, *packet loss*, *packet delivery ratio*, dan konsumsi energi.

B. Perancangan dan Implementasi

Tahap kedua mencakup perancangan dan implementasi model jaringan simulasi seperti skenario pada Tabel I yang melibatkan 40, 50, dan 60 node sensor nirkabel serta 2 node sink atau base station yang ditempatkan dalam area simulasi dengan ukuran 800 m², dengan masing-masing node sensor memiliki tingkat energi awal seperti parameter pada Tabel II, sebesar 1000 joule. Pada lingkungan simulasi juga didukung dengan perangkat dan sistem seperti yang dimuat pada Tabel III.

TABEL I
 SKENARIO SIMULASI

Parameter	Keterangan
Simulator	NS-2
Luas Area Simulasi	800 m ²
Waktu Simulasi	180 s
Jumlah Node	30, 40, 50
Penempatan Node	statis
Mobilitas Node	statis dan acak
Protokol MAC	802.11
Ukuran Paket	512 Bytes
Jenis <i>Traffic</i>	TCP

TABEL II
 PARAMETER MODEL ENERGI

Parameter	Keterangan
energyModel	“Energy Model”
initialEnergy	1000
txPower	1.175
rxPower	0.175
idlePower	1.0
sleepPower	1.001
energyModel	“Energy Model”
initialEnergy	1000
txPower	1.175

TABEL III
 IDENTIFIKASI SISTEM

Parameter	Keterangan
Sistem Operasi	Linux Ubuntu 20.04
RAM	4GB

C. Analisis dan Kesimpulan

Pada tahap ketiga, analisis dan kesimpulan, setelah simulasi berhasil dilakukan, maka akan mendapatkan *output* berupa informasi *log* atau *trace file* yang telah direkam selama simulasi berjalan kemudian otomatis tersimpan dalam dokumen berisi teks dengan format *.tr*. Data hasil simulasi kemudian dianalisis dengan menggunakan alat analisis seperti AWK.

AWK merupakan bahasa pemrograman tingkat tinggi yang digunakan untuk memproses file teks. Dalam konteks simulasi jaringan, skrip AWK digunakan untuk melakukan perhitungan terkait parameter seperti *packet delivery ratio*, *throughput*, *packet loss*, dan *energy consumption*. Penggunaan AWK dalam simulasi ini beralasan karena kemampuannya dalam memproses dan menganalisis data teks secara efisien. Dengan keahliannya mengekstrak dan menyajikan informasi dari output simulasi NS-2, AWK efektif untuk menghitung parameter seperti *packet delivery ratio*, *throughput*, *packet loss*, dan *energy consumption*[14].

Kemudian dilakukan perbandingan kinerja WSN dengan protokol *multi hop* dan *single hop* berdasarkan metrik performa yang telah ditentukan. Dalam pengukuran performa WSNs, *throughput* adalah parameter penting yang mengukur jumlah data yang berhasil dikirim atau diterima oleh node-node sensor[15]. Di samping itu, *packet delivery ratio* (PDR) digunakan sebagai indikator kualitas jaringan dan performa protokol routing, sementara *packet loss* adalah kejadian di mana paket-paket data tidak berhasil sampai ke tujuan selama proses transmisi[16-17]. Selain itu, penggunaan energi juga menjadi fokus dalam menganalisis efisiensi jaringan, dengan metrik *energy consumption* yang mengukur jumlah energi yang dikonsumsi oleh node-node selama periode waktu tertentu. Dalam penelitian ini, ada beberapa metrik performa yang akan diukur dan dianalisis yaitu :

1) Throughput

Throughput adalah parameter krusial yang mengukur jumlah data yang berhasil dikirim atau diterima oleh node-node sensor, menjadi indikator utama kemampuan jaringan untuk mentransfer data secara efisien.

2) Packet Delivery Ratio

Packet Delivery Ratio (PDR) menjadi parameter kunci yang digunakan untuk mengevaluasi kualitas jaringan dan performa protokol routing. PDR mengindikasikan sejauh mana jaringan mampu mengirimkan paket secara akurat dan efisien

3) Packet Loss

Packet loss merupakan metrik yang penting untuk diukur karena dapat memengaruhi kualitas . Packet loss yang lebih rendah dapat meningkatkan kualitas.

4) Energy Consumption

Energy consumption (konsumsi energi) merupakan metrik yang penting untuk diukur karena dapat memengaruhi masa pakai baterai. Konsumsi energi yang lebih rendah dapat meningkatkan masa pakai baterai.

Fokus utama dalam perbandingan antara protokol *multi hop* dan *single hop* adalah kinerja protokol dalam hal kehandalan protokol yang diukur berdasarkan *packet delivery ratio* dan *packet loss* serta efisiensi protokol yang diukur berdasarkan *throughput* dan *energy consumption*. Kesimpulan dari analisis ini memberikan pemahaman tentang kinerja protokol *multi hop* dan *single hop* dalam konteks WSN.

III. HASIL DAN PEMBAHASAN

Berdasarkan tahap-tahap dan perancangan penelitian yang dibuat, simulasi dilakukan dengan menggunakan perangkat lunak NS-2. Simulasi dilakukan untuk menguji kinerja protokol multi-hop dan single-hop dalam hal performa dan efisiensi energi.

A. Proses Kerja Sistem

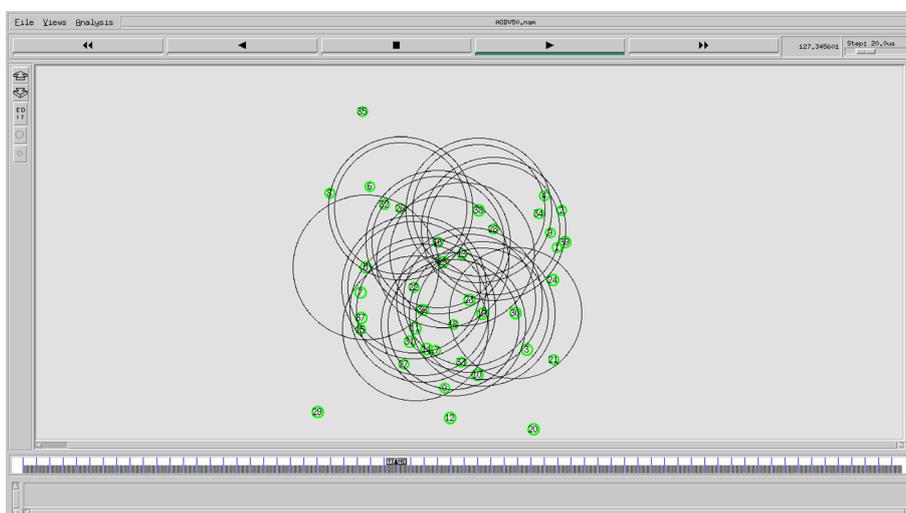
Proses kerja sistem ini melibatkan sejumlah tahapan yang penting dalam analisis performa serta perbandingan antara protokol *multi hop* dan *single hop* dalam WSN. Tahap pertama adalah inisialisasi, di mana simulator atau

lingkungan simulasi seperti NS-2 diinisialisasi dengan menentukan parameter awal seperti jumlah node, ukuran wilayah, waktu simulasi, dan model konsumsi energi. Tahap selanjutnya adalah pembentukan jaringan, di mana node-node sensor dibuat sesuai dengan jumlah yang ditentukan dan posisi mereka ditentukan dalam wilayah simulasi. Setelah itu, tahap konfigurasi protokol dilakukan dengan memilih dan mengkonfigurasi protokol *multi hop* dan *single hop* yang akan digunakan, serta mengatur parameter-parameter protokol. Tahap komunikasi dan routing melibatkan inisialisasi routing protokol, menghubungkan node-node sensor sesuai dengan protokol yang dipilih, dan menerapkan algoritma routing untuk pengiriman data. Tahap simulasi adalah saat simulasi sebenarnya dijalankan dengan mengumpulkan data performa seperti *throughput*, *packet delivery ratio*, dan konsumsi energi, serta merekam informasi *log* atau *trace file*. Setelahnya, tahap analisis performa melibatkan penggunaan alat analisis untuk menganalisis data hasil simulasi dan membandingkan performa antara protokol *multi hop* dan *single hop* berdasarkan metrik performa yang telah ditentukan. Akhirnya, tahap evaluasi dan kesimpulan dilakukan dengan mengevaluasi hasil analisis, mengidentifikasi kelebihan dan kekurangan dari masing-masing protokol, menarik kesimpulan tentang kinerja mereka, dan memberikan rekomendasi atau saran untuk pengembangan protokol serta peningkatan performa WSN. Keseluruhan proses kerja sistem ini merupakan langkah krusial dalam memahami dan membandingkan kinerja protokol dalam konteks jaringan sensor nirkabel.

B. Hasil Pengujian Dan Analisa

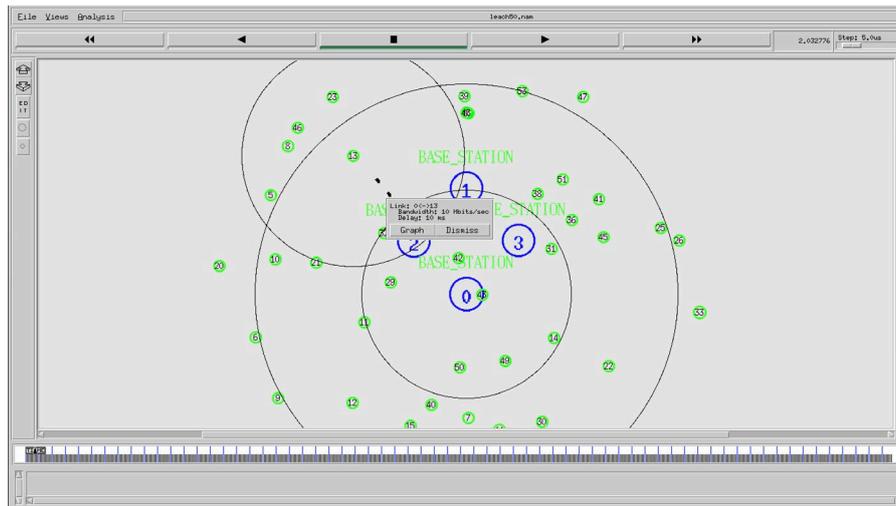
Pada tahap pengujian, simulasi dilaksanakan menggunakan protokol Multi-Hop, yaitu Ad-Hoc On-Demand Distance Vector (AODV), dan protokol Single-Hop, yaitu Low Energy Adaptive Clustering Hierarchy (LEACH). AODV adalah protokol routing yang menggunakan tabel vektor jarak untuk menentukan jalur transmisi data dengan bekerja secara on-demand, hanya membangun tabel routing ketika diperlukan. Di sisi lain, LEACH menggunakan pendekatan clustering untuk membagi node sensor menjadi beberapa cluster, dengan setiap cluster memiliki satu node cluster head yang bertanggung jawab atas pengiriman data dari node sensor di dalam cluster tersebut ke sink. Pemilihan protokol AODV dan LEACH didasarkan pada pertimbangan khusus. Pertama, AODV dipilih karena merupakan protokol routing ad-hoc yang efisien dan bekerja secara on-demand, membangun tabel routing hanya ketika diperlukan. Kelebihan ini memungkinkan penanganan dinamisitas jaringan dan optimalisasi penggunaan *bandwidth* nirkabel. Di sisi lain, LEACH dipilih sebagai representasi protokol Single-Hop yang menggunakan pendekatan clustering. LEACH dikenal efektif dalam situasi di mana node sensor dikelompokkan menjadi cluster, dengan satu node cluster head bertanggung jawab atas pengiriman data dari anggota cluster ke sink.

Pemilihan kedua protokol ini untuk perbandingan didasarkan pada tujuan menganalisis performa jaringan sensor nirkabel dengan pendekatan Multi-Hop dan Single-Hop. AODV, sebagai protokol Multi-Hop, dapat menggambarkan kinerja jaringan dalam komunikasi melalui beberapa lompatan, sementara LEACH, sebagai protokol Single-Hop, memberikan gambaran tentang pengaruh pengelompokan pada efisiensi energi dan pengiriman data dalam jaringan. Dengan membandingkan kedua protokol ini, penelitian dapat memberikan wawasan mendalam tentang kelebihan dan kelemahan masing-masing pendekatan, serta membantu pemahaman lebih lanjut tentang kondisi di mana satu pendekatan lebih unggul daripada yang lain dalam konteks Wireless Sensor Network.



Gambar. 1. Simulasi protokol multi hop

Pada simulasi protokol *Multi hop* yang tampak pada Gambar 1, ketika node sensor ingin mengirim data ke tujuan, ia memulai proses permintaan rute dengan mengirimkan pesan RREQ (*Route Request*) ke node tetangga terdekatnya. Pesan RREQ diteruskan melalui node tetangga hingga mencapai node tujuan atau node yang memiliki rute ke tujuan. Node tujuan merespons dengan pesan RREP (*Route Reply*), yang kemudian diteruskan kembali ke node pengirim melalui jalur yang diambil oleh RREQ. Setelah pengiriman data dimungkinkan dengan adanya rute yang ditemukan, protokol AODV terus memelihara rute dan menggunakan *caching* untuk meningkatkan efisiensi. Selama pengiriman data, pemeliharaan rute dilakukan dengan mengirim pesan RERR (*Route Error*) jika ada perubahan topologi atau kerusakan node. Ini memastikan bahwa tabel rute tetap mutakhir dan data dapat dikirim secara efisien dalam jaringan sensor nirkabel.



Gambar. 2. Simulasi protokol single hop

Pada simulasi protokol *Single hop* yang ditunjukkan pada Gambar 2, setiap node sensor dalam jaringan memutuskan secara acak apakah akan menjadi *cluster head* (CH) atau bukan. Node yang terpilih sebagai CH mengumumkan statusnya kepada node lain dalam jaringan kemudian membentuk dan mengatur clusternya sendiri. CH mengumpulkan data dari anggota cluster (node-node non-CH) yang berada dalam jangkauannya, lalu data ini digregasi atau diolah di tingkat *cluster head* sebelum dikirim ke *Base Station*.

Setelah menyelesaikan simulasi, performa protokol *routing* dievaluasi dengan memanfaatkan beberapa parameter *Quality of Service* (QoS) dan salah satu metrik pengukuran energi. Dalam pengujian performa Protokol *Routing Multi hop* dan *Single hop*, menggunakan tiga parameter *Quality of Service* sebagai acuan evaluasi, yaitu *Packet Delivery Ratio* (PDR), *Throughput*, *Packet loss* dan *Energy Consumption*.

TABEL IV
 HASIL PENGUJIAN PROTOKOL MULTI HOP

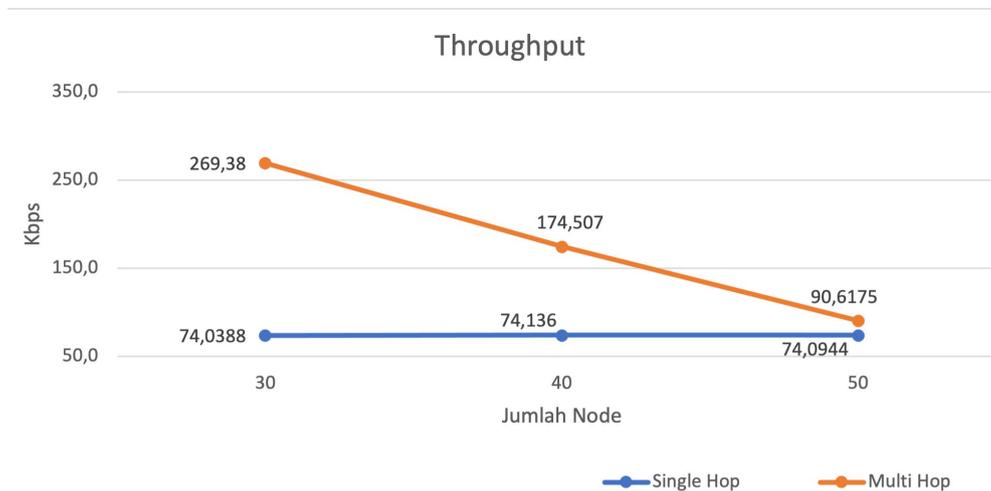
Jumlah Node	Throughput (kbps)	PDR (%)	Packet Loss (%)	Energy Consumption (Joule)
30	269,38	99,46	0,53	1480,75
40	174,507	98,96	1,18	1735,09
50	90,6175	97,97	2,12	4881,79

TABEL V
 HASIL PENGUJIAN PROTOKOL SINGLE HOP

Jumlah Node	Throughput (kbps)	PDR (%)	Packet Loss (%)	Energy Consumption (Joule)
30	74,0388	99,81	0,19	2595,72
40	74,136	99,94	0,06	2242,62
50	74,0944	99,88	0,11	2135,75

1) Throughput

Dari hasil simulasi yang telah dilakukan, terlihat pada Gambar 3, terdapat perbedaan yang signifikan dalam *throughput* antara protokol *multi hop* dan *single hop* pada *Wireless Sensor Network* (WSN). Pada jumlah node 30, protokol Multi Hop memiliki *throughput* yang jauh lebih tinggi (269,38 Kbps) dibandingkan dengan protokol Single Hop (74,0388 Kbps). Hal ini dapat dikaitkan dengan kemampuan protokol Multi Hop dalam memanfaatkan jalur komunikasi yang lebih panjang melalui node perantara.



Gambar. 3. Grafik throughput

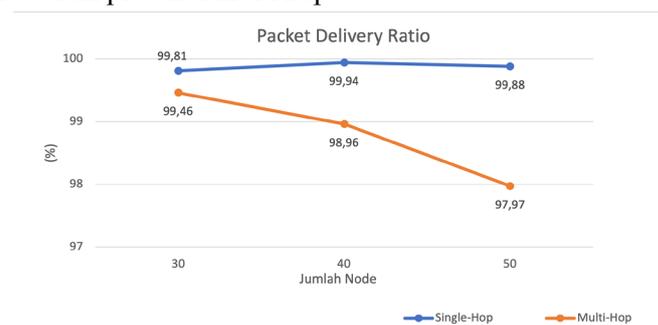
Namun, ketika jumlah node meningkat menjadi 40 dan 50, terjadi penurunan *throughput* yang signifikan pada protokol Multi Hop (174,507 Kbps dan 90,6175 Kbps), sementara protokol Single Hop tetap mempertahankan *throughput* yang relatif stabil (74,136 Kbps dan 74,0944 Kbps). Hal ini mengindikasikan bahwa protokol Single Hop lebih efektif dalam menjaga *throughput* yang konsisten dengan peningkatan jumlah node.

Pada jumlah node yang kecil, protokol Multi Hop dapat memberikan *throughput* yang lebih tinggi dibandingkan dengan protokol Single Hop. Hal ini dikarenakan protokol Multi Hop dapat memanfaatkan jalur komunikasi yang lebih panjang melalui node perantara. Namun, pada jumlah node yang besar, protokol Multi Hop mengalami penurunan *throughput* yang signifikan. Hal ini disebabkan oleh meningkatnya kompleksitas jaringan dan konsumsi energi yang terkait dengan transfer data antar node perantara.

Peningkatan jumlah node cenderung memengaruhi *throughput*, terutama pada protokol Multi Hop. Dengan penambahan node, protokol Multi Hop mengalami penurunan *throughput*, menunjukkan bahwa semakin kompleks jaringan, semakin sulit bagi protokol ini untuk menjaga tingkat transfer data yang tinggi. Di sisi lain, protokol Single Hop mampu mempertahankan atau meningkatkan *throughput*, menunjukkan keunggulannya dalam skenario dengan jumlah node yang lebih besar.

2) Packet Delivery Ratio (PDR)

Gambar 4, terlihat bahwa Protokol Single Hop memiliki tingkat PDR yang lebih tinggi dibandingkan dengan Protokol Multi Hop pada semua jumlah node yang diuji. Pada Protokol Multi Hop, PDR pada jumlah node 30 adalah sebesar 99,46%, pada jumlah node 40 adalah sebesar 98,96%, dan pada jumlah node 50 adalah sebesar 97,97%. Hal ini menunjukkan bahwa sebagian kecil paket mengalami kegagalan pengiriman atau hilang saat melewati node perantara dalam protokol multi hop.

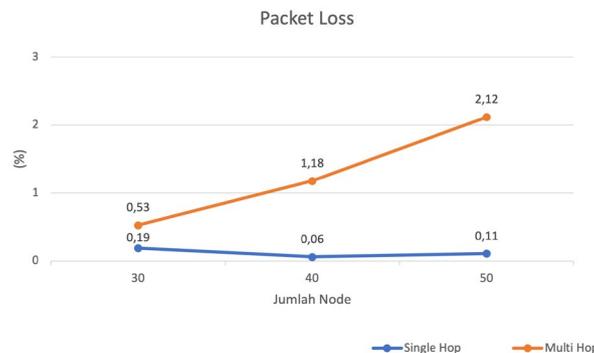


Gambar. 3. Grafik throughput

Sementara itu, pada Protokol Single Hop, PDR pada jumlah node 30 adalah sebesar 99,81%, pada jumlah node 40 adalah sebesar 99,94%, dan pada jumlah node 50 adalah sebesar 99,88%. Dengan demikian, Protokol Single Hop berhasil mengirimkan hampir semua paket dengan tingkat keberhasilan yang sangat tinggi. Protokol Single Hop memiliki tingkat PDR yang lebih tinggi dibandingkan dengan protokol Multi Hop karena protokol Single Hop tidak melibatkan transfer data melalui node perantara. Hal ini mengurangi kemungkinan paket hilang atau gagal dikirim saat melewati node perantara. PDR pada protokol Multi Hop cenderung menurun seiring peningkatan jumlah node. Jumlah node yang lebih besar meningkatkan peluang kegagalan pengiriman paket, terutama saat melibatkan node perantara. Pada protokol Single Hop, PDR relatif stabil atau meningkat, menandakan kemampuannya untuk mengatasi tantangan yang muncul dengan jumlah node yang lebih tinggi.

3) Packet Loss

Gambar 5, hasil pengujian protokol Multi Hop, Packet loss pada jumlah node 30 adalah sebesar 0,53%, pada jumlah node 40 adalah sebesar 1,18%, dan pada jumlah node 50 adalah sebesar 2,12%. Hal ini menunjukkan adanya paket yang hilang atau gagal dikirim saat melewati node perantara dalam protokol multi hop. Sementara itu, pada Protokol Single hop (Cluster Head), Packet loss pada jumlah node 30 adalah sebesar 0,19%, pada jumlah node 40 adalah sebesar 0,06%, dan pada jumlah node 50 adalah sebesar 0,11%. Dengan demikian, Protokol Single hop berhasil mengurangi jumlah paket yang hilang atau gagal dikirim dengan tingkat yang lebih rendah.

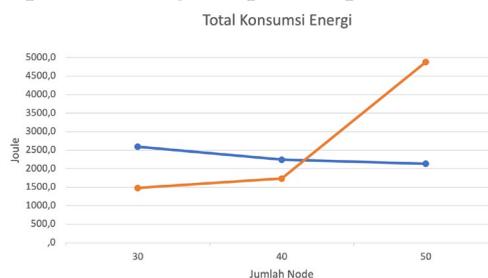


Gambar. 5. Grafik packet loss

Protokol Single Hop memiliki tingkat Packet Loss yang lebih rendah dibandingkan dengan protokol Multi Hop karena protokol Single Hop tidak melibatkan transfer data melalui node perantara. Peningkatan jumlah node pada protokol Multi Hop menyebabkan peningkatan packet loss. Lebih banyak node perantara berarti lebih banyak peluang kehilangan paket saat transit. Sebaliknya, protokol Single Hop berhasil mengurangi tingkat packet loss, menunjukkan keefektifannya dalam menjaga keandalan pengiriman data, terutama dalam lingkungan yang padat dengan node sensor.

4) Energy Consumption

Tampak pada grafik pada Gambar 6, hasil pengujian menunjukkan bahwa konsumsi energi pada protokol Multi hop cenderung lebih tinggi dibandingkan dengan protokol Single hop. Pada jumlah node 30, protokol Multi hop memiliki total konsumsi energi sebesar 1480,75. Sedangkan protokol Single hop memiliki total konsumsi energi sebesar 2595,72. Pada jumlah node 40, total konsumsi energi protokol Multi hop adalah 1735,09, sementara protokol Single hop mencapai 2242,62. Pada jumlah node 50, total konsumsi energi protokol Multi hop adalah 4881,79, sedangkan protokol Single hop mencapai 2135,75.



Gambar. 6. Grafik energy consumption

Perbedaan konsumsi energi antara kedua protokol dapat dijelaskan oleh karakteristik masing-masing. Protokol Multi hop melibatkan transfer data melalui node perantara dalam rute komunikasi, yang mengakibatkan peningkatan konsumsi energi karena setiap node harus meneruskan paket data. Sementara itu, protokol Single hop memanfaatkan node cluster head sebagai pusat komunikasi, yang mengurangi kompleksitas jaringan dan konsumsi energi yang terkait dengan transfer data antar node perantara.

Konsumsi energi protokol Multi Hop cenderung meningkat secara signifikan dengan penambahan jumlah node. Struktur Multi Hop yang melibatkan node perantara dalam pengiriman data menyebabkan peningkatan beban energi. Protokol Single Hop, dengan penggunaan node cluster head, menunjukkan konsumsi energi yang lebih stabil atau bahkan menurun pada beberapa skenario jumlah node, menandakan efisiensinya dalam pengelolaan daya.

Analisis lebih mendalam terhadap kinerja protokol Multi Hop pada jumlah node 30 yang awalnya menunjukkan throughput tinggi namun mengalami penurunan pada jumlah node 40 dan 50 dapat dijelaskan oleh dinamika kerja protokol AODV serta pengaruh dari penambahan jumlah node. Pada awalnya, protokol Multi Hop (AODV) mampu mencapai throughput yang tinggi (269,38 Kbps) dengan efisiensi memanfaatkan jalur komunikasi melalui beberapa node perantara. Namun, ketika jumlah node meningkat, terjadi penurunan throughput yang signifikan (174,507 Kbps dan 90,6175 Kbps). Penurunan ini terkait dengan kompleksitas yang meningkat dalam menangani tabel routing yang semakin rumit dan meningkatnya jumlah hop yang diperlukan untuk mencapai tujuan. Faktor lain yang mempengaruhi penurunan throughput melibatkan overhead routing yang kompleks dan peningkatan risiko kollision serta interferensi sinyal seiring penambahan node. Analisis ini menyoroti bahwa protokol Multi Hop, meskipun unggul pada jumlah node yang lebih rendah, dapat menghadapi tantangan dalam menjaga kinerja yang konsisten dengan penambahan node. Sebaliknya, protokol Single Hop (Cluster Head) dapat lebih efektif dalam menjaga throughput yang stabil dengan jumlah node yang lebih besar, berkat penggunaan konsep pengelompokan (*clustering*) untuk mengoptimalkan pengiriman data. Keputusan dalam memilih protokol harus mempertimbangkan karakteristik lingkungan dan aplikasi secara spesifik.

Protokol Single Hop, yang menggunakan struktur pengelompokan dengan node cluster head sebagai pusat komunikasi, menunjukkan tingkat Packet Delivery Ratio (PDR) yang lebih tinggi pada semua jumlah node yang diuji dibandingkan dengan Protokol Multi Hop. Hal ini dapat diatributkan kepada jalur komunikasi yang lebih langsung dan minimnya hop dalam pengiriman data pada Protokol Single Hop. Keberhasilan pengiriman data yang lebih tinggi pada Protokol Single Hop juga berkontribusi pada tingkat yang lebih rendah dari paket yang hilang atau gagal dikirim, menunjukkan efisiensi dalam penanganan situasi yang dapat menyebabkan kehilangan paket.

Selain itu, analisis konsumsi energi mengungkapkan bahwa Protokol Multi Hop cenderung memiliki konsumsi energi yang lebih tinggi dibandingkan dengan Protokol Single Hop. Struktur Multi Hop, yang melibatkan node perantara dalam perjalanan data, menyebabkan peningkatan konsumsi energi karena setiap node harus meneruskan paket data. Sebaliknya, Protokol Single Hop dengan node cluster head mengelola komunikasi dengan efisiensi yang lebih baik, mengurangi kompleksitas jaringan dan konsumsi energi yang terkait dengan transfer data antar node perantara. Dengan demikian, hasil analisis ini menyoroti relevansi pemilihan protokol tergantung pada kebutuhan spesifik jaringan dan kondisi lingkungan, dengan Protokol Single Hop menunjukkan keunggulan dalam hal PDR yang lebih tinggi dan efisiensi energi dalam situasi pengujian tertentu.

IV. KESIMPULAN

Hasil pengujian performa *Wireless Sensor Network* (WSN) menggunakan protokol *Multi hop* (AODV) dan *Single hop* (*Cluster Head*) memberikan beberapa kesimpulan penting. Pertama, Protokol *Multi hop* (AODV) menunjukkan tingkat *throughput* yang lebih tinggi, mengindikasikan kemampuan jaringan untuk mentransfer data dengan kecepatan yang lebih tinggi. Kedua, Protokol *Single hop* (*Cluster Head*) unggul dalam hal pengiriman paket yang lebih baik (*Packet delivery ratio*), yang penting untuk keandalan pengiriman data. Ketiga, Protokol *Single hop* juga lebih efisien dalam hal konsumsi energi, terutama saat jumlah *node* bertambah. Disarankan untuk mempertimbangkan Protokol *Multi hop* (AODV) jika kecepatan transfer data menjadi prioritas utama. Namun, untuk efisiensi energi yang lebih baik, Protokol *Single hop* (*Cluster Head*) dengan konsep pengelompokan (*clustering*) dapat menjadi solusi yang lebih baik. Selain itu, pemilihan jumlah node yang sesuai dengan skenario aplikasi dan pengaturan energi awal yang tepat juga perlu diperhatikan. Faktor lain seperti latensi, *packet delivery ratio*, dan *packet loss* juga harus menjadi pertimbangan dalam pemilihan protokol yang sesuai.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] A. Khanna and S. Kaur, "Internet of Things (IoT), Applications and Challenges: A Comprehensive Review," *Wirel Pers Commun*, vol. 114, no. 2, pp. 1687–1762, 2020, doi: 10.1007/s11277-020-07446-4.
- [2] K. Gulati, R. Boddu, D. Kapila, S. Bangare, N. Chandnani, and G. Saravanan, "A review paper on wireless sensor network techniques in Internet of Things (IoT)," *Mater Today Proc*, vol. 51, Apr. 2021, doi: 10.1016/j.matpr.2021.05.067.
- [3] M. Mahmuddin, W. A. Alabadleh, and L. M. Kamarudin, "WM-LEACH- An Improved Network Lifetime LEACH Protocol for Wireless Sensor Networks," *IOP Conf Ser Mater Sci Eng*, vol. 551, no. 1, p. 12057, Aug. 2019, doi: 10.1088/1757-899X/551/1/012057.
- [4] O. O. Olakanmi and A. Dada, "Wireless Sensor Networks (WSNs): Security and Privacy Issues and Solutions," in *Wireless Mesh Networks*, M. Khatib and S. Alsadi, Eds., Rijeka: IntechOpen, 2020, doi: 10.5772/intechopen.84989.
- [5] B. Dalal and S. Kukarni, "Wireless Sensor Networks: Applications," in *Wireless Sensor Networks*, S. S. Yellampalli, Ed., Rijeka: IntechOpen, 2021, doi: 10.5772/intechopen.97079.
- [6] S. Naskar, "Wireless Sensor Networks Challenges and Solutions," in *Wireless Sensor Networks*, J. Sen, M. Yi, F. Niu, and H. Wu, Eds., Rijeka: IntechOpen, 2023, doi: 10.5772/intechopen.109238.
- [7] Sharanu and S. S. Jawaligi, "ACRDA: An adaptive combined relay based dynamic data aggregation technique for wireless sensor networks," *Measurement: Sensors*, vol. 24, p. 100571, 2022, doi: <https://doi.org/10.1016/j.measen.2022.100571>.
- [8] I. M. K. Wiguna, I. Djuni, and P. K. Sudiarta, "ANALISA PERBANDINGAN BEBAN TRAFFIC FTP DALAM SISTEM MANET (MOBILE AD-HOC NETWORK) PADA PERGERAKAN MANHATTAN GRID DENGAN MENGGUNAKAN ROUTING PROTOKOL AODV DAN OLSR," *Jurnal SPEKTRUM Vol*, vol. 6, no. 1, 2019.
- [9] I. Daanoune, B. Abdennaceur, and A. Ballouk, "A comprehensive survey on LEACH-based clustering routing protocols in Wireless Sensor Networks," *Ad Hoc Networks*, vol. 114, p. 102409, 2021, doi: <https://doi.org/10.1016/j.adhoc.2020.102409>.
- [10] M. Mahmuddin, W. A. Alabadleh, and L. M. Kamarudin, "A Comparative Study on Hoping Mechanism of LEACH Protocol in Wireless Sensor Networks: A Survey," *IOP Conf Ser Mater Sci Eng*, vol. 551, no. 1, p. 012056, 2019, doi: 10.1088/1757-899X/551/1/012056.
- [11] I. Novid, D. Faiza, T. Thamrin, and W. Agustiarini, "ANALISA PERBANDINGAN ROUTING PROTOKOL PADA WIRELESS SENSOR NETWORKS (WSNs)," *Voteteknika (Vocational Teknik Elektronika dan Informatika)*, vol. 7, no. 2, pp. 177–181, 2019, doi: 10.24036/voteteknika.v7i2.105144.
- [12] S. Silmi, Z. Doukha, R. Kemcha, and S. Moussaoui, "Wireless sensor networks simulators and testbeds," Sep. 2020, doi: 10.5121/csit.2020.100901-10.5121/csit.2020.100921.
- [13] T. Rachman, A. F. Ikhsan, and T. A. Wiharso, "Analisis Perbandingan Performa serta Efisiensi Energi Routing Protocol Data Centric SPIN dengan Directed Diffusion Wireless Sensor Network," *Jurnal FUSE-Teknik Elektro*, vol. 2, no. 2, pp. 107–115, 2022.
- [14] N. and P. S. Patel Radhika and Patel, "An Approach to Analyze Behavior of Network Events in NS2 and NS3 Using AWK and Xgraph," in *Information and Communication Technology for Competitive Strategies*, S. and M. P. N. Fong Simon and Akashe, Ed., Singapore: Springer Singapore, 2019, pp. 137–147.
- [15] A. Raja Basha, "A Review on Wireless Sensor Networks: Routing," *Wirel Pers Commun*, vol. 125, no. 1, pp. 897–937, 2022, doi: 10.1007/s11277-022-09583-4.
- [16] V. R. M and S. Malladi, "Improving Packet Delivery Ratio in Wireless Sensor Network with Multi Factor Strategies," *International Journal of Advanced Computer Science and Applications*, vol. 12, no. 5, 2021, doi: 10.14569/IJACSA.2021.0120575.
- [17] M. Khaeel Ullah Khan and K. S. Ramesh, "Effect on Packet Delivery Ratio (PDR) & Throughput in Wireless Sensor Networks Due to Black Hole Attack," *International Journal of Innovative Technology and Exploring Engineering*, vol. 8, no. 12S, pp. 428–432, Dec. 2019, doi: 10.35940/ijitee.L1107.10812S19.