JURNAL LITEK : Jurnal Listrik Telekomunikasi Elektronika, Vol. 19, No. 1, Maret 2022, pp. 13~19
pISSN: 1693-8097; eISSN: 2549-8762

ANALISIS KINERJA JARINGAN MANET MENGGUNAKAN PROTOKOL ROUTING OLSR

Hanafi[1], Rachmawati[2], Cut Fatmawati[3]

[1,2,3]Jurusan Teknik Elektro, Politeknik Negeri Lhokseumawe
Email: hanafi_hf@pnl.ac.id[1], rachma@pnl.ac.id[2], cut.fatmawati.cf@gmail.com[3]

Abstrak – Teknologi di bidang telekomunikasi dan informasi terus berkembang untuk memenuhi kebutuhan masyarakat. Teknologi telekomunikasi yang umum dibutuhkan oleh masyarakat saat ini adalah teknologi berbasis *wireless*. Keunggulan tekonologi *wireless* ini salah satunya adalah dapat menjangkau wilayah yang sulit dicapai melalui jaringan kabel. Salah satu teknologi jaringan *wireless* yang sedang berkembang pada era ini adalah *Mobile Ad Hoc Network* (MANET). Jaringan MANET merupakan jaringan *wireless* yang terdiri dari beberapa node *mobile* dalam suatu area. Setiap node pada jaringan MANET dapat berfungsi sebagai *host* maupun *router*, sehingga aplikasinya memerlukan protokol *routing*. Pada penelitian ini dilakukan analisis kinerja *throughput*, *delay*, dan *packet loss* jaringan MANET. Protokol *routing* yang digunakan adalah OLSR (*Optimized Link State Routing*). Simulasi MANET dilakukan untuk dua skenario, yaitu skenario penambahan jumlah node, dan skenario penambahan kecepatan gerak node. Simulasi menggunakan *Software* Network Simulator-3 (NS-3) yang dijalankan di atas Sistem Operasi Ubuntu. Hasil simulasi diperoleh nilai *throughput* terbaik 9,929 kbps untuk skenario penambahan node, dengan jumlah node 20, dan 9,850 kbps untuk skenario penambahan kecepatan node, dengan kecepatan node 5 m/s. Sementara nilai *delay* dan *packet loss* terbaik diperoleh 0,413 ms dan 0% untuk skenario penambahan node, serta 4,941 ms dan 0% untuk skenario penambahan kecepatan.

Kata-kata kunci: MANET, NS-3, Routing, OLSR, Throughput, Delay, Packet Loss

Abstract – Technology in the field of telecommunications and information continues to develop to meet the needs of the community. Telecommunications technology that is generally needed by society today is wireless-based technology. One of the advantages of this wireless technology is that it can reach areas that are difficult to reach via a wired network. One of the wireless network technologies that is being developed in this era is the Mobile Ad Hoc Network (MANET). MANET network is a wireless network consisting of several mobile nodes in an area. Each node on the MANET network can function as a host or router, so the application requires a routing protocol. This research analyzes the performance of MANET network throughput, delay, and packet loss. The routing protocol used is OLSR (Optimized Link State Routing). MANET simulations were carried out for two scenarios, namely the scenario of increasing the number of nodes, and the scenario of increasing the speed of node movement. Simulation using Network Simulator-3 (NS-3) Software that runs on the Ubuntu Operating System. The simulation results obtained the best throughput value of 9.929 kbps for the scenario of adding a node, with the number of nodes being 20, and 9.850 kbps for the scenario of increasing the speed of the node, with a node speed of 5 m/s. Meanwhile, the best delay and packet loss values were obtained at 0.413 ms and 0% for the additional node scenario, and 4.941 ms and 0% for the additional speed scenario.

Key words: MANET, NS-3, Routing, OLSR, Throughput, Delay, Packet Loss

I. PENDAHULUAN

Pada Era Revolusi Industri 4.0, seluruh teknologi mulai dikembangkan dan diciptakan dengan berbasis Internet. Internet telah menjadi kebutuhan dan banyak digunakan oleh masyarakat, mulai dari yang tinggal di daerah perkotaan hingga tempat yang terpencil. Maka teknologi di bidang telekomunikasi dan informasi juga ikut berkembang untuk memenuhi kebutuhan masyarakat ini, sehingga seluruh perangkat yang digunakan untuk berkomunikasi berbasis *wireless* karena jaringan *wireless* dapat menjangkau setiap wilayah dan orang yang berada pada daerah yang sulit dijangkau bahkan kurangnya infrastruktur. Salah satu teknologi jaringan *wireless* yang sedang berkembang pada era ini adalah *Mobile Ad Hoc Network* (MANET).

Mobile Ad Hoc Network (MANET) merupakan suatu jaringan nirkabel yang terdiri dari beberapa *node* yang bersifat *mobile*, sehingga dapat terbentuk topologi yang berbeda-beda, dan setiap *node* pada MANET dapat berfungsi sebagai *host* maupun *router* [1].

Pada jaringan MANET, protokol *routing* sangat berperan penting dalam proses pengiriman data. Pada jaringan MANET ini, ada tiga jenis *routing* yang dapat digunakan, yaitu proaktif yang bersifat *table driven*, reaktif yang bersifat *on demand,* dan *hybrid*. Banyak penelitian yang berkaitan dengan protokol *routing* di jaringan MANET salah satunya, seperti penelitian Nurhayati & Yudi (2015) tentang perbandingan protokol *routing Ad Hoc Demand Distance Vector* (AODV) dan *Destination Sequenced Distance Vector* (DSDV) menggunakan *Software* NS-3 versi 3.22. Pada

penelitian tersebut diperoleh hasil bahwa protokol *routing* AODV lebih baik dari DSDV pada skenario penambahan *node*, sedangkan pada penambahan koneksi lebih unggul protokol *routing* DSDV [2].

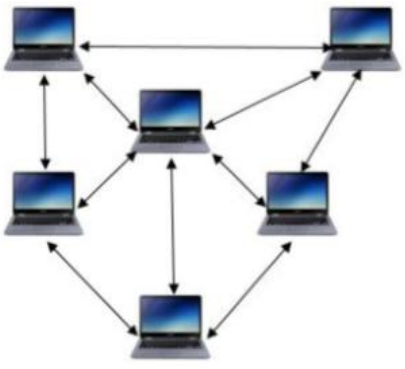
Egi Marudi Samudarji (2017) melakukan simulasi MANET untuk menganalisis kinerja *routing* Protokol OLSR dan DSDV. Penelitian ini menggunakan skenario penambahan *node* dan ukuran paket data. Hasil dari penambahan *node*, berdasarkan nilai parameter *throughput*, *packet delivery ratio*, dan *packet loss*, OLSR lebih baik dari DSDV. Sedangkan DSDV lebih baik pada nilai *delay*. Sedangkan dari skenario penambahan ukuran paket data, berdasarkan nilai parameter *throughput*, *packet delivery ratio*, dan *packet loss*, OLSR juga lebih baik dari DSDV, tetapi DSDV lebih baik pada nilai parameter *delay* [3].

Pada penelitian ini akan dilakukan analisis kinerja protokol *routing* OLSR pada jaringan MANET. Kinerja protokol *routing* dilakukan untuk dua skenario, yaitu skenario penambahan *node*, dan skenario penambahan kecepatan gerak *node*. Hasil kinerja *routing* diukur menggunakan simulasi di *Software* NS-3 yang dijalankan di atas Sistem Operasi Ubuntu. Kinerja yang diukur adalah *throughput*, *delay*, dan *packet loss*.

II. TINJAUAN PUSTAKA

A. MANET

MANET adalah jaringan *mobile* nirkabel, dengan setiap *node* dapat berfungsi sebagai *host* maupun *router* [1]. Pada jaringan ini, perutean dan sumber daya manajemen dilakukan secara terdistribusi, dimana *node* saling berkoordinasi untuk mengaktifkan komunikasi diantara mereka sendiri. Hal ini menuntut setiap *node* berfungsi baik sebagai *host* jaringan untuk mengirim dan menerima data, dan sebagai *router* jaringan untuk merutekan paket data dari *node* lain. *Node-node* tersebut dapat bergerak secara bebas dan dinamis dan bekerja sama sehingga membentuk sebuah topologi, seperti diperlihatkan pada Gambar 1 [4].



Gbr. 1 Contoh Jaringan MANET [4]

Jaringan MANET memiliki kemampuan untuk mengatur *node* menyebar dengan cepat, sehingga dapat diterapkan untuk berbagai aplikasi, seperti komunikasi dalam medan perang, ataupun skenario untuk pengiriman bantuan darurat jika terjadi bencana [4].

B. Protokol Routing OLSR

Protokol OLSR adalah protokol IP *routing* yang dioptimalkan untuk jaringan *mobile adhoc*, yang juga dapat digunakan pada jaringan *wireless* lain. Protokol OLSR didasarkan pada algoritma status tautan dan bersifat proaktif. Protokol ini menggunakan pertukaran pesan secara berkala untuk mempertahankan informasi topologi jaringan pada setiap *node*.

Protokol OLSR merupakan pengoptimalan terhadap protokol status tautan murni karena protokol tersebut memadatkan ukuran informasi yang dikirim dalam pesan, dan mengurangi jumlah transmisi ulang sehingga tidak membanjiri jaringan dengan pesan-pesan tersebut. Protokol OLSR menggunakan teknik *relay multipoint* untuk membanjiri pesan kontrolnya secara efisien dan ekonomis, dan memberikan rute optimal dalam hal jumlah hop yang segera tersedia saat dibutuhkan [5].

C. NS-3

NS-3 adalah simulator jaringan desain modular yang dapat dihubungkan ke jaringan nyata. Simulator ini memiliki fasilitas logging untuk *debugging* dan *tracing* untuk mendapatkan *output*. Sebagian besar pengguna fokus pada simulasi *wireless*, termasuk model untuk Wi-Fi, LTE atau WiMAX, dan protokol *routing* seperti AODV, OLSR, dan lain-lain. NS-3 terbagi atas sejumlah modul yang memiliki satu atau lebih model untuk perangkat dan protokol jaringan nyata [6].

D. NetAnim

NetAnim merupakan aplikasi animasi jaringan yang terdapat pada NS-3. NetAnim merupakan aplikasi untuk menampilkan secara visual pengiriman paket yang terjadi pada NS-3.

E. Parameter Kinerja Jaringan

1. *Throughput*

Throughput adalah kecepatan transfer data efektif, yang diukur dengan satuan *bit per second* (bps). *Throughput* dapat dihitung dengan menggunakan Persamaan 1, sedangkan standar *throughput* berdasarkan TIPHON seperti diperlihatkan pada Tabel 1 [7].

$$\text{Throughput} = \frac{\text{ukuran data yang diterima}}{\text{waktu pengiriman data}} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots \quad (1)$$

Tabel I
Standar *Throughput* Berdasarkan TIPHON [7]

Kategori *Throughput*	*Throughput*	Indek
Sangat Buruk	0 – 338 kbps	0
Buruk	338 – 700 kbps	1
Sedang	700 – 1200 kbps	2
Bagus	1200 kbps – 2,1 Mbps	3
Sangat Bagus	>2,1 Mbps	4

2. Delay

Delay adalah waktu yang dibutuhkan data untuk menempuh jarak dari asal sampai ke tujuan. *Delay* dapat dipengaruhi oleh jarak, media fisik, atau juga waktu proses yang lama. *Delay* dapat dihitung dengan menggunakan Persamaan 2, sedangkan standar *delay* berdasarkan TIPHON seperti pada Tabel 2 [7].

Delay = waktu data diterima – waktu data dikirim ….(2)

Tabel II
Standar *Delay* Berdasarkan TIPHON [8]

Kategori Latensi	Besar *Delay*	Indek
Buruk	> 450 ms	1
Sedang	300 – 450 ms	2
Bagus	150 – 300 ms	3
Sangat Bagus	< 150 ms	4

3. *Packet Loss*

Packet loss merupakan parameter yang menunjukkan jumlah total paket yang hilang pada saat transmisi. *Packet loss* diukur dalam persen (%). Paket dapat hilang disebabkan oleh *collision* pada jaringan. *Packet loss* dapat dihitung dengan menggunakan Persamaan 3, sedangkan standar *packet loss* berdasarkan TIPHON seperti pada diperlihatkan pada Tabel 3 [7].

$$\text{Paket loss} = \frac{\text{Jml. paket dikirim} - \text{Jml. paket yang diterima}}{\text{Jml. paket dikirim}} \quad \ldots\ldots (3)$$

Tabel III
Standar *Packet Loss* Berdasarkan TIPHON [8]

Kategori *Packet Loss*	*Packet Loss*	Indek
Buruk	>25%	1
Sedang	15 – 24%	2
Bagus	3 – 14%	3
Sangat Bagus	0 – 2%	4

III. METODOLOGI

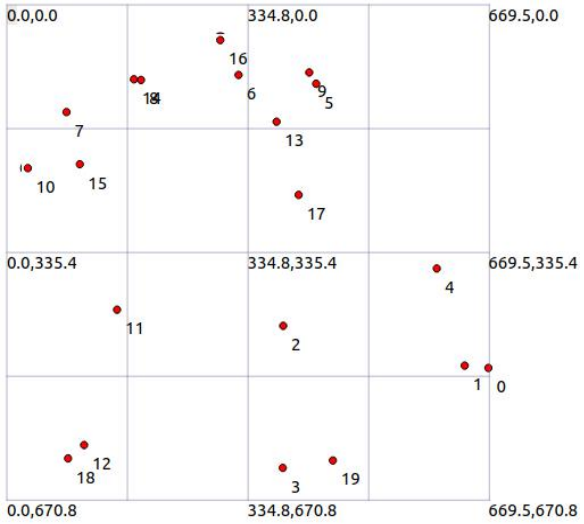
A. Skenario Pengujian Sistem

Simulasi jaringan menggunakan *software* NS-3 versi 3.29 dan *software* NetAnim. Kedua *software* ini dijalankan pada sistem operasi ubuntu 18.04.

Simulasi dilakukan untuk dua skenario pengujian, yaitu skenario penambahan jumlah *node*, dan skenario penambahan kecepatan gerak *node*. Skenario penambahan jumlah *node* yaitu kondisi dimana luas area yang tetap dengan sebuah jaringan yang mengalami penambahan jumlah *node*, sedangkan skenario penambahan kecepatan gerak *node* yaitu kondisi dimana luas area dan jumlah *node* yang tetap dengan sebuah jaringan yang mengalami penambahan kecepatan gerak *node*.

Skenario penambahan jumlah *node* akan disimulasikan dengan jumlah *node* 20, 30, dan 40. *Node-node* yang berada dalam satu area cakupan ini akan tersebar secara acak. Walaupun *node-node* tersebar secara acak, posisi awal *node* tidak akan berubah dari simulasi pertama sampai simulasi terakhir, karena NS-3 memiliki fitur *stream index*.

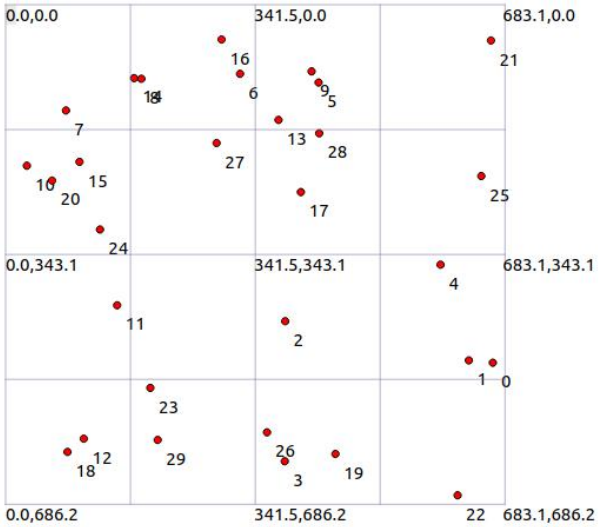
Gambar 2 adalah jaringan untuk skenario penambahan jumlah *node* 20. Gambar tersebut diambil dari hasil keluaran NetAnim dengan penyebaran *node* berada dalam satu area cakupan.



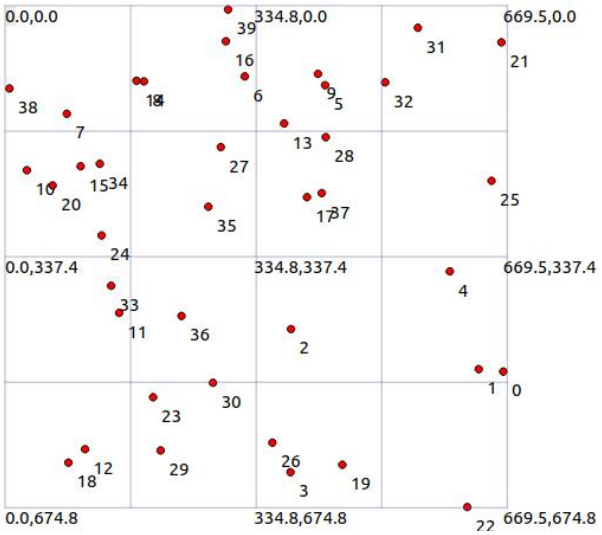
Gbr. 2 Jaringan dengan Jumlah *Node* 20

Pada gambar di atas terdapat terdapat 20 *node* yang tersebar pada suatu wilayah yang memiliki luas 500 m × 500 m. Pada wilayah tersebut, *node* dimulai dari indek 0 sampai dengan indek 19. *Node* indek 0-19 memiliki alamat IP 10.1.1.1 - 10.1.1.20. Skenario penambahan jumlah *node* ini dilakukan untuk melihat kinerja dari protokol *routing* tersebut, karena dengan bertambahnya *node* pada suatu wilayah dapat menyebabkan kepadatan pada suatu jaringan, sehingga mempengaruhi pengiriman paket data ke semua *node*.

Gambar 3 dan 4 adalah jaringan untuk skenario penambahan jumlah *node* 30 dan 40.



Gbr. 3 Jaringan dengan Jumlah *Node* 30



Gbr. 4 Jaringan dengan Jumlah *Node* 40

Adapun skenario penambahan kecepatan bertujuan untuk menganalisis suatu jaringan terhadap pengaruh dari penambahan kecepatan gerak pada *node*. Pada skenario ini, jumlah *node* yang digunakan tetap sama dengan sebelumnya, akan tetapi setiap *node* akan mengalami penambahan kecepatan. Kecepatan *node* yang digunakan pada simulasi adalah 5 m/s, 10 m/s, dan 15 m/s.

Dari kedua skenario di atas, parameter yang akan dianalisis adalah *throughput*, *delay*, dan *packet loss*. Parameter-parameter ini dapat dilihat dari hasil simulasi menggunakan *software* NS-3.

B. Parameter Simulasi

Parameter simulasi bersifat konstan selama proses simulasi dijalankan. Parameter simulasi yang digunakan seperti diperlihatkan pada Tabel 4.

Tabel IV
Parameter Simulasi

Parameter	Nilai
Waktu simulasi	100 detik
Pengiriman paket data	Dimulai pada detik 51
Tipe kanal	*Wireless*
Traffic sources	*UDP*
Model pergerakan *node*	*Random Waypoint*
Kecepatan *node*	5 m/s, 10 m/s, 15 m/s
Ukuran paket data	64 *bytes*
Dimensi ruang	500 x 500 m
TX Power	7
Koneksi	5
Pause time	0

- Waktu Simulasi

  Waktu simulasi adalah waktu yang dibutuhkan untuk menjalankan simulasi. Waktu simulasi yang digunakan adalah 100 detik yang diperkirakan cukup untuk menjalankan simulasi MANET.

- Waktu Pengiriman Paket Data

  Waktu pengiriman paket data adalah waktu dimana semua *node* melakukan pengiriman paket data. Waktu pengiriman paket data yang digunakan adalah setengah dari waktu simulasi, yaitu 50 detik, karena sisa waktu sebelumnya digunakan untuk *update* tabel *routing* dan menentukan jalur yang akan dipakai.

- Tipe Kanal

  Tipe Kanal adalah media yang digunakan untuk menghubungkan antar *node*. Tipe kanal yang digunakan dalam simulasi adalah *wireless*, karena protokol *routing* pada MANET bersifat *mobile* atau bergerak secara dinamis.

- *Traffic Sources*

  Traffic source yang digunakan untuk mengirimkan paket data adalah *User Datagram Protocol* (UDP).

- Model Pergerakan *Node*

  Model pergerakan *node* yang digunakan selama simulasi adalah *random waypoint,* dimana *node-node* akan bergerak secara acak, akan tetapi pergerakannya akan tetap sama untuk banyak *node* yang sama.

- Kecepatan *Node*

  Kecepatan *node* merupakan kecepatan dari pergerakan *node* dari satu posisi ke posisi yang lain. Kecepatan *node* yang digunakan dalam simulasi adalah 5 m/s, 10m/s, dan 15 m/s..

- Ukuran Paket Data

  Ukuran paket data yang dikirim adalah 64 bytes.

- Dimensi Ruang

  Dimensi ruang adalah ukuran tempat berlangsungnya simulasi, dengan ukuran ruang yang digunakan adalah 500 m × 500 m.

- TX *Power*

  TX *power* adalah daya yang dibutuhkan untuk mengirimkan paket data. Daya yang dibutuhkan pada simulasi ini adalah 7.

- Koneksi

  Koneksi adalah hubungan antara 2 *node* atau lebih yang saling berkomunikasi. Pada simulasi ini, koneksi jaringan yang digunakan diatur sebanyak 5 koneksi, yang dirasa cukup untuk jaringan MANET maksimal 40 *node*.

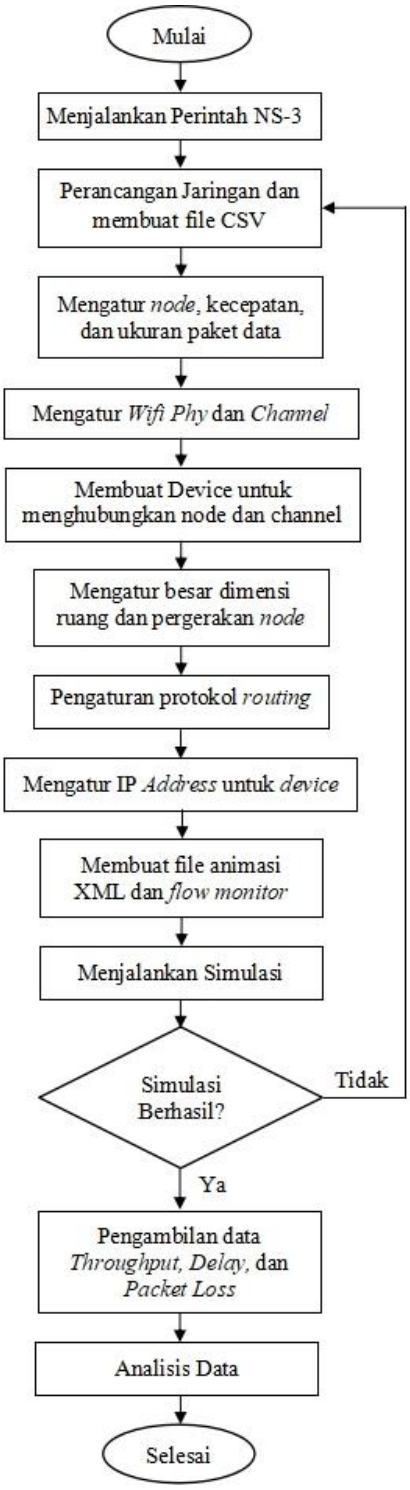
- *Pause Time*

  Pause time merupakan waktu dimana *node-node* akan berhenti bergerak secara acak, kemudian *node* bergerak kembali sesuai kecepatan yang

telah ditentukan. Pada simulasi ini, *pause time* diatur menjadi 0, agar *node* dari awal terus bergerak, dan kecepatan pergerakan setiap *node* tetap sama pada jumlah *node* yang sama dengan simulasi yang berbeda.

C. *Flow Chart* Simulasi

Urutan proses simulasi MANET seperti diperlihatkan pada Gambar 5.



Gbr. 5 *Flow Chart* Program Simulasi MANET

IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil simulasi terdiri dari 3 file yang berbeda, yaitu file berekstensi *csv*, *flowmon*, dan *xml*. File berekstensi *csv* digunakan untuk analisis nilai *throughput*. Untuk menghitug nilai *throughput* dibutuhkan total nilai ukuran paket yang diterima dan waktu simulasi berjalan, dimulai dari paket dikirim sampai paket yang terakhir diterima. Pada file ini terdapat informasi berupa lamanya waktu simulasi, ukuran paket yang diterima, paket yang diterima, jumlah koneksi, jenis protokol routing, dan daya transmisi. Contoh isi file seperti diperlihatkan pada Tabel 5.

Tabel V
Contoh Isi File berekstensi csv

OLSR 10.csv					
SimulationSecond	ReceiveRate	PacketsReceived	NumberOfSinks	RoutingProtocol	TransmissionPower
0	0	0	5	OLSR	7
1	0	0	5	OLSR	7
2	0	0	5	OLSR	7
3	0	0	5	OLSR	7
4	0	0	5	OLSR	7
5	0	0	5	OLSR	7
6	0	0	5	OLSR	7
7	0	0	5	OLSR	7
8	0	0	5	OLSR	7
9	0	0	5	OLSR	7
10	0	0	5	OLSR	7
11	0	0	5	OLSR	7
12	0	0	5	OLSR	7
13	0	0	5	OLSR	7
14	0	0	5	OLSR	7
15	0	0	5	OLSR	7
16	0	0	5	OLSR	7
17	0	0	5	OLSR	7
18	0	0	5	OLSR	7
19	0	0	5	OLSR	7
20	0	0	5	OLSR	7

File berekstensi *flowmon* digunakan untuk analisis *delay* dan *packet loss*. Untuk nilai *delay* sudah terhitung secara otomatis, hanya saja perlu menghitung nilai rata-rata *delay*. Sedangkan untuk nilai *packet loss* dapat diperoleh dengan mengambil nilai paket yang dikirim dari *txPackets* dan paket yang diterima dari *rxPackets*. File yang berbentuk *flowmon* ini dapat dibuka melalui aplikasi NetAnim. Contoh isi dari file seperti diperlihatkan pada Gambar 6.

```
w Id:1                                  Flow Id:2
====                                    ======
P 10.1.1.6/49153---->10.1.1.1/9         UDP 10.1.1.9/49153---->10.1.1.4/9

bitrate:2.95887kbps                     Tx bitrate:2.95887kbps
bitrate:2.95949kbps                     Rx bitrate:2.95976kbps
an delay:0.395852ms                     Mean delay:0.752914ms
cket Loss ratio:0%                      Packet Loss ratio:0%

eFirstTxPacket= 5.02711e+10ns           timeFirstTxPacket= 5.0314e+10ns
eFirstRxPacket= 5.02818e+10ns           timeFirstRxPacket= 5.03292e+10ns
eLastTxPacket= 9.97711e+10ns            timeLastTxPacket= 9.9814e+10ns
eLastRxPacket= 9.97714e+10ns            timeLastRxPacket= 9.98143e+10ns
laySum= 7.87745e+7ns                    delaySum= 1.4983e+8ns
erSum= 3.11443e+7ns                     jitterSum= 6.90208e+7ns
tDelay= 7.87745e+7ns                    lastDelay= 1.4983e+8ns
ytes= 18308                             txBytes= 18308
ytes= 18308                             rxBytes= 18308
ackets= 199                             txPackets= 199
ackets= 199                             rxPackets= 199
tPackets= 0                             lostPackets= 0
esForwarded= 0                          timesForwarded= 48
```

```
Flow Id:3
======
UDP 10.1.1.8/49153---->10.1.1.3/9

Tx bitrate:2.95887kbps
Rx bitrate:2.95907kbps
Mean delay:0.303611ms
Packet Loss ratio:0%

timeFirstTxPacket= 5.03211e+10ns
timeFirstRxPacket= 5.03248e+10ns
timeLastTxPacket=  9.98211e+10ns
timeLastRxPacket=  9.98214e+10ns
delaySum=          6.04186e+7ns
jitterSum=         3.41218e+6ns
lastDelay=         6.04186e+7ns
txBytes=           18308
rxBytes=           18308
txPackets=         199
rxPackets=         199
lostPackets=       0
timesForwarded=    0
```

```
Flow Id:4
======
UDP 10.1.1.7/49153---->10.1.1.2/9

Tx bitrate:2.95887kbps
Rx bitrate:2.95907kbps
Mean delay:0.307105ms
Packet Loss ratio:0%

timeFirstTxPacket= 5.04376e+10ns
timeFirstRxPacket= 5.04413e+10ns
timeLastTxPacket=  9.99376e+10ns
timeLastRxPacket=  9.99379e+10ns
delaySum=          6.1114e+7ns
jitterSum=         4.93313e+6ns
lastDelay=         6.1114e+7ns
txBytes=           18308
rxBytes=           18308
txPackets=         199
rxPackets=         199
lostPackets=       0
timesForwarded=    0
```

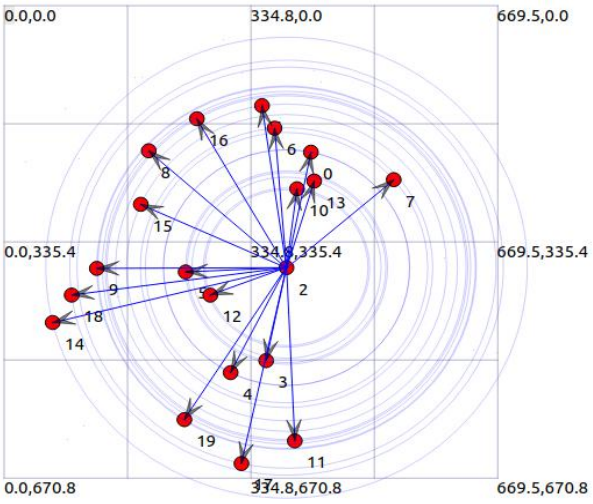
```
Flow Id:5
======
UDP 10.1.1.10/49153---->10.1.1.5/9

Tx bitrate:2.95902kbps
Rx bitrate:2.95923kbps
Mean delay:0.307679ms
Packet Loss ratio:0%

timeFirstTxPacket= 5.09489e+10ns
timeFirstRxPacket= 5.09526e+10ns
timeLastTxPacket=  9.99489e+10ns
timeLastRxPacket=  9.99492e+10ns
delaySum=          6.06128e+7ns
jitterSum=         4.90734e+6ns
lastDelay=         6.06128e+7ns
txBytes=           18124
rxBytes=           18124
txPackets=         197
rxPackets=         197
lostPackets=       0
timesForwarded=    0
```

Gbr. 6 Contoh isi file berekstensi *flowmon* pada Aplikasi NetAnim

Adapun file berekstensi *xml* digunakan untuk menampilkan animasi dari proses simulasi. File ini akan menampilkan mulai dari *broadcast,* pergerakan dari *node-node*, dan pengiriman paket data. Contoh isi file ini seperti diperlihatkan pada Gambar 7.



Gbr. 7 Animasi Simulasi Pada NetAnim

A. Skenario Penambahan Jumlah *Node*

1. *Throughput*

Nilai *throughput* rata-rata seperti diperlihatkan pada Tabel 6. Nilai tertinggi *throughput* diperoleh di jumlah *node* 20 sebesar 9,929 kbps, pada kecepatan 10 m/s, nilai tertinggi *throughput* diperoleh di *node* 20 sebesar 9,857 kbps, dan pada kecepatan 15 m/s, nilai tertinggi *throughput* diperoleh di *node* 20 sebesar 9,918 kbps. Nilai *throughput* menurun seiring dengan penambahan jumlah *node* dalam satu area cakupan.

Tabel VI
Throughput Rata-Rata Jaringan dengan Skenario Penambahan *Node*

Jumlah *Node*	*Throughput* Rata-rata (kbps)		
	5 m/s	10 m/s	15 m/s
20	9,929	9,857	9,918
30	9,857	9,816	9,276
40	9,765	9,612	9,326

2. *Delay*

Nilai d*elay* rata-rata seperti diperlihatkan pada Tabel 7. *Delay* yang paling baik diperoleh pada kecepatan 5 m/s sebesar 0,413 ms di *node* 20, pada kecepatan 10 m/s sebesar 0,579 ms di *node* 30, sedangkan pada kecepatan 15 m/s sebesar 2,058 ms di *node* 20. *Delay* yang dihasilkan setiap pertambahan *node* berbeda-beda, semakin *node* bertambah, *delay* yang dihasilkan semakin besar, akan tetapi *delay* yang dihasilkan masih dalam kategori sangat bagus dalam kategori TIPHON.

Tabel VII
Delay Rata-Rata Jaringan dengan Skenario Penambahan *Node*

Jumlah *Node*	*Delay* Rata-Rata (ms)		
	5 m/s	10 m/s	15 m/s
20	0,413	3,106	2,058
30	0,556	0,579	12,577
40	13,855	22,894	17,004

3. *Packet Loss*

Nilai *packet Loss* rata-rata seperti diperlihatkan pada Tabel 8. *Packet loss* terbaik pada kecepatan 5 m/s sebesar 0% di *node* 20 dan 30, pada kecepatan 10 m/s sebesar 0% pada *node* 30, sedangkan pada kecepatan 15 m/s sebesar 0% pada *node* 20. Akan tetapi, *packet loss* yang dihasilkan masih dalam kategori sangat baik dan baik berdasarkan standar TIPHON.

Tabel VIII
Packet Loss Rata-Rata Jaringan dengan Skenario Penambahan *Node*

Jumlah *Node*	*Packet Loss* Rata-Rata (%)		
	5 m/s	10 m/s	15 m/s
20	0	1	0
30	0	0	8
40	1	6	11

B. Skenario Penambahan Kecepatan

1. *Throughput*

Nilai *throughput* rata-rata seperti diperlihatkan pada Tabel 9. Nilai *throughput* tertinggi diperoleh saat kecepatan 5 m/s sebesar 9,850 kbps, dan seiring bertambahnya kecepatan, nilai *throughput* semakin menurun. Penurunan nilai *throughput* ini dapat disebabkan oleh sulitnya protokol *routing* OLSR dalam memproses pengiriman paket dengan waktu yang semakin cepat.

Tabel IX
Throughput Rata-Rata Jaringan dengan Skenario Penambahan Kecepatan

Kecepatan (m/s)	*Throughput* Rata-rata (kbps)
5	9,850
10	9,762
15	9,507

2. *Delay*

Delay rata-rata seperti diperlihatkan pada Tabel 10. *Delay* terbaik diperoleh pada kecepatan 5 m/s dengan nilai sebesar 4,941 ms. Pada skenario ini, semakin bertambahnya kecepatan maka *delay* yang dihasilkan semakin besar.

Tabel X
Delay Rata-Rata Jaringan dengan Skenario Penambahan Kecepatan

Kecepatan (m/s)	*Delay* Rata-rata (ms)
5	4,941
10	8,860
15	10,546

3. *Packet Loss*

Nilai *packet Loss* rata-rata seperti diperlihatkan pada Tabel 11. Nilai *packet loss* terbaik sebesar 0% pada saat kecepatan 5 m/s. Pada skenario ini, semakin bertambahnya kecepatan maka *packet loss* yang dihasilkan semakin besar.

Tabel XI
Delay Rata-Rata Jaringan dengan Skenario Penambahan Kecepatan

Kecepatan (m/s)	*Packet Loss* Rata-rata (%)
5	0
10	2
15	6

V. KESIMPULAN

Dari hasil analisis di atas dapat diambil kesimpulan:

1. Berdasarkan skenario penambahan *node* diperoleh nilai terbaik *throughput* sebesar 9,929 kbps, *delay* sebesar 0, 413 ms, dan *packet loss* sebesar 0% pada *node* 20, dengan jumlah *node* 20 di kecepatan 5 m/s.
2. Berdasarkan skenario penambahan kecepatan diperoleh nilai terbaik *throughput* sebesar 9,850 kbps, *delay* sebesar 4,941 ms, dan *packet loss* sebesar 0%, pada kecepatan 5 m/s.

REFERENSI

[1] Irawan, D., & Roestam, R. (2011). Simulasi Model Jaringan Mobile Ad-Hoc (MANET) dengan NS-3. Badan Pengkajian dan Penerapan Teknologi. Jakarta. Jurnal Konferensi Nasional Sistem dan Informatika, Bali, November 12, 2011., 335–339.

[2] Jiatmiko, N., & Prayudi, Y. (2015, November). Simulasi Jaringan MANET dengan NS3 untuk Membandingkan Performa Routing Protokol AODV dan DSDV. *Seminar Nasional Teknologi Informasi Komunikasi dan Industri*.

[3] Samudarji, E. M. (2017). Simulasi Mobile Ad-Hoc Network (MANET) Untuk Menganalisis Perbandingan Performansi Routing Protokol OLSR dan DSDV. Tugas Akhir Mahasiswa Jurusan Teknik Informatika, Universitas Isalam Indonesia.

[4] Murthy, C. S. R., & Manoj, B. S. (2004). *Ad hoc wireless networks: Architectures and protocols, portable documents*. Pearson education.

[5] Jacquet, P., Muhlethaler, P., Clausen, T., Laouiti, A., Qayyum, A., & Viennot, L. (2001, December). Optimized Link State Routing Protocol for Ad Hoc Networks. *In Proceedings. IEEE International Multi Topic Conference. IEEE INMIC. Technology for the 21st Century*. (pp. 62-68).

[6] Jha, R. K., dan Kharga, P. (2015). Advanced Open Source Simulator : NS-3. *International Journal of Computer Science and Engineering*, *3*, 67-74.

[7] Riadi, M. (2019, Mei). Pengertian, Layanan dan Parameter Quality of Service (QoS). Kajian Pustaka.com.

[8] ETSI. (1999). Telecommunication and Internet Protocol Harmonization Over Network (TIPHON); General Aspects of Quality of Service (QoS). *ETSI*, *2.1.1*, 1–37.