

MENGURANGI TABRAKAN SINYAL DI JARINGAN MANET DENGAN METODE DPT PADA PROTOKOL ROUTING FSR

(Reducing Signal Collisions in MANET using DPT Algorithm on FSR Routing Protocol)

Andy Hidayat Jatmika*, Raphael Bianco Huwae, Santi Ika Murpratiwi

Dept. Informatics Engineering, University of Mataram

Jl. Majapahit 62, Mataram, Lombok NTB, INDONESIA

Email: [andy, raphael.bianco.huwae]@unram.ac.id, santiika@staff.unram.ac.id

Abstract

Sinyal komunikasi memainkan peran sentral dalam memastikan keberhasilan transmisi data dan konektivitas antar perangkat di dalam jaringan *Mobile Ad hoc Network (MANET)*. Sinyal ini memungkinkan perangkat untuk berkomunikasi satu sama lain dan mentransmisikan data. Sebelum dilakukan pengiriman data, perlu dilakukan proses *routing* untuk mengetahui rute menuju perangkat tujuan yang hal ini dilakukan oleh protokol routing. Pada penelitian ini digunakan protokol routing proaktif yaitu *Fisheye State Routing (FSR)* dimana FSR secara berkala harus selalu melakukan *update* tabel routing sehingga membuat perangkat jaringan sering berkomunikasi satu dengan yang lain. Banyaknya jumlah perangkat dalam jaringan yang saling berkomunikasi akan membuat sinyal komunikasi saling bertabrakan. Tabrakan sinyal komunikasi merupakan salah satu faktor utama yang dapat menurunkan kinerja jaringan, salah satunya adalah penurunan *throughput* yang berdampak pada keberhasilan pengiriman data karena dapat menyebabkan data yang ditransmisikan menjadi rusak atau hilang. Penelitian ini mengusulkan adanya pengelolaan jarak jangkauan kekuatan sinyal komunikasi menggunakan metode *Dynamic Power Transmission (DPT)* yang diterapkan pada kerangka protokol routing FSR. Metode DPT secara dinamis akan menyesuaikan jarak jangkauan sinyal berdasarkan tingkat kepadatan node tetangga sehingga tabrakan sinyal dapat dikurangi. Hasil penelitian menunjukkan bahwa protokol routing DPT-FSR memberikan kinerja yang lebih baik sehingga meningkatkan nilai *throughput* dan *packet delivery ratio (PDR)* serta menurunkan *end to end delay* jika dibandingkan dengan protokol routing FSR standar. Protokol routing DPT-FSR mampu memberikan rata-rata peningkatan *throughput* sebesar 67.49%, peningkatan PDR sebesar 20.38%, dan mengurangi *end to end delay* sebesar 29.44% dari berbagai variasi kepadatan node.

Keywords: tabrakan sinyal, komunikasi data, protokol *routing*, FSR, MANET

*Penulis Korespondensi

1. PENDAHULUAN

Pengiriman data pada jaringan *mobile adhoc network (MANET)* merupakan proses yang kompleks dan penuh tantangan. Perangkat dalam jaringan MANET terus bergerak, sehingga topologi jaringan berubah dengan cepat. Keberhasilan pengiriman data memastikan bahwa data dapat ditransmisikan dengan cepat dan efisien, tanpa perlu mengulang transmisi yang gagal. Komunikasi data pada jaringan MANET merupakan proses pengiriman data melalui media gelombang elektromagnetik, seperti gelombang radio, gelombang mikro, atau cahaya infra merah. Komunikasi data dalam jaringan MANET telah menjadi tulang punggung konektivitas modern, memberikan akses tanpa kabel yang memungkinkan pertukaran informasi antar perangkat tanpa memerlukan fisik kabel.

Jaringan MANET terbentuk secara spontan dari sekumpulan perangkat nirkabel yang dapat bergerak bebas ke segala arah. Setiap perangkat dalam jaringan MANET bertindak sebagai router, meneruskan data dan komunikasi ke perangkat lain dalam jangkauannya. [1]. Perangkat komunikasi dalam jaringan MANET juga biasa disebut sebagai node. Dalam penelitian ini istilah node akan lebih sering digunakan.

Node-node dalam jaringan MANET akan mengeluarkan sinyal untuk menjangkau node tetangganya ketika ingin berkomunikasi. Jika terdapat dua buah node saling berada dalam jangkauan sinyal, artinya kedua node tersebut dapat berkomunikasi [2]. Dalam jaringan MANET, sebelum proses pengiriman data, perlu dilakukan proses pencarian rute jika node tujuan tidak berada dalam jangkauan node pengirim. Proses pencarian rute ini disebut dengan istilah *routing* yang berfungsi untuk menentukan rute terbaik dari

node pengirim ke node tujuan. Proses routing memerlukan sebuah protokol routing yang bertugas menentukan rute terbaik berdasarkan algoritma yang digunakan oleh routing protokol tersebut.

Pada jaringan MANET, terdapat beberapa kategori protokol routing berdasarkan sifat yang dimilikinya. Ada 3 kategori yaitu protokol dengan sifat reaktif, sifat proaktif, dan sifat hybrid [3]. Protokol routing dengan sifat reaktif akan melakukan proses routing apabila terdapat permintaan node yang akan mengirimkan data. Protokol routing yang bersifat proaktif melakukan proses routing terus menerus secara berkala untuk mengupdate tabel routing tiap-tiap node sehingga rutennya sudah terbentuk. Protokol routing yang bersifat hybrid menggunakan pendekatan sifat reaktif dan sifat proaktif dalam proses routingnya.

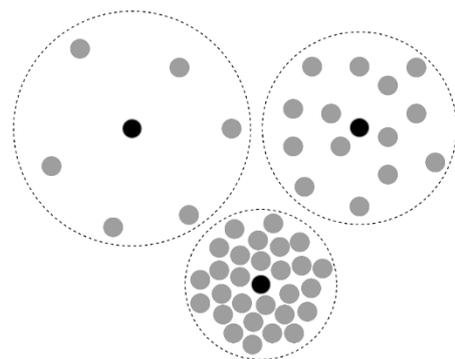
Pada penelitian ini akan difokuskan pada routing protokol yang bersifat proaktif karena jenis protokol routing ini akan selalu berkomunikasi secara terus menerus dengan node-node lainnya untuk bertukar informasi tabel routing. Salah satu protokol routing bersifat proaktif adalah protokol FSR. Protokol FSR bekerja dengan cara mengumpulkan informasi topologi jaringan secara terus-menerus sehingga memerlukan banyak bandwidth [4]. Protokol routing FSR memastikan bahwa setiap node dalam jaringan MANET memiliki informasi topologi yang relatif terkini.

Node-node dalam jaringan MANET yang menggunakan protokol routing FSR akan selalu berkomunikasi untuk melakukan update tabel routing. Ini artinya bahwa akan banyak sinyal komunikasi yang muncul pada jaringan tersebut dan akan menyebabkan tabrakan sinyal. Tabrakan sinyal terjadi ketika dua atau lebih sinyal dikirimkan pada frekuensi yang sama pada waktu yang bersamaan [5]. Jarak sinyal komunikasi node pada jaringan MANET secara default bersifat tetap yaitu berada pada jarak 250 meter. Semakin tinggi tingkat kepadatan node pada jaringan, maka akan semakin banyak tabrakan sinyal yang terjadi akibat seringnya komunikasi antar node pada protokol routing FSR.

Permasalahan yang muncul akibat tabrakan sinyal komunikasi ini adalah [6] : 1) Data yang dikirimkan menjadi rusak atau hilang. Tabrakan sinyal dapat menyebabkan distorsi sinyal, dimana bentuk gelombang sinyal asli menjadi terganggu yang dapat mengubah nilai bit dalam paket data sehingga data menjadi rusak atau hilang. 2) Penurunan throughput. Throughput adalah jumlah data yang dapat dikirimkan melalui jaringan dalam satu waktu. Tabrakan sinyal komunikasi dapat membuat menurunnya kekuatan sinyal sehingga mengharuskan sebuah perangkat

jaringan untuk mengulang transmisi yang berpengaruh terhadap penurunan throughput. 3) Mengurangi bandwidth. Tabrakan sinyal dapat menyebabkan pengurangan bandwidth karena sebagian besar data yang dikirim terpaksa diulang atau dikirim kembali setelah tabrakan. 4) Peningkatan latensi. Latensi adalah waktu yang dibutuhkan untuk mengirimkan data dari satu node ke node lainnya. Tabrakan sinyal dapat menyebabkan peningkatan latensi karena data yang dikirimkan harus dikirimkan ulang.

Untuk mengatasi permasalahan tabrakan sinyal, penelitian ini mengusulkan untuk dilakukan manajemen jarak jangkauan kekuatan sinyal komunikasi pada protokol routing FSR dengan menggunakan algoritma *Dynamic Power Transmission (DPT)*. Jarak jangkauan sinyal komunikasi secara dinamis akan disesuaikan berdasarkan tingkat kepadatan node tetangga sehingga tabrakan sinyal dapat dikurangi. Algoritma DPT melakukan penyesuaian jarak sinyal komunikasi dengan cara menghitung tingkat kepadatan node tetangga yang terbagi menjadi tiga tingkatan (*level*). Apabila tingkat kepadatan node tetangga berada di bawah 7 node (*Level 1*), maka jarak sinyal komunikasi secara otomatis diatur menjadi 250 meter. Untuk tingkat kepadatan node tetangga antara 7 hingga 15 node (*Level 2*), apabila jarak sinyal komunikasi yang diperlukan untuk menjangkau node tujuan sudah cukup kuat maka penggunaan jarak sinyal komunikasi yang lebih tinggi tidak diperlukan. Sementara itu, jika tingkat kepadatan node melebihi 15 node (*Level 3*), jarak sinyal komunikasi akan disesuaikan menjadi 170 meter [7].



Gambar 1. Dynamic Power Transmission (DPT)

Algoritma DPT diterapkan pada kerangka protokol routing FSR agar ketika node-node dalam jaringan saling berkomunikasi untuk bertukar informasi tabel routing, tabrakan sinyal komunikasi dapat dikurangi sehingga penggunaan bandwidth dan throughput menjadi optimal.

2. TINJAUAN PUSTAKA

Pada penelitian [8] dilakukan modifikasi terhadap protokol routing DSDV dengan tujuan mengurangi interferensi sinyal menggunakan algoritma DPT. Besar kecilnya sinyal komunikasi dilakukan secara dinamis dengan mempertimbangkan jumlah kepadatan node yang telah ditentukan pada algoritma DPT. Pada penelitian ini digunakan variasi tingkat kepadatan node yaitu dimulai dari 75 node, 100 node, 150 node, dan 200 node untuk menguji kinerja protokol routing DPT-DSDV. Parameter uji yang digunakan adalah throughput, end-to-end delay, dan packet delivery ratio (PDR). Hasil penelitian menunjukkan bahwa protokol routing DPT-DSDV mampu memberikan nilai throughput dan PDR lebih tinggi dibandingkan dengan protokol DSDV seiring dengan adanya penambahan tingkat kepadatan node yaitu pada 75, 100, 150, dan 200 node. End-to-end Delay juga berhasil mengalami penurunan pada protokol DPT-DSDV dibandingkan dengan protokol routing DSDV.

Pada artikel [7] penulis mengusulkan penggunaan algoritma DPT yang diterapkan pada kerangka protokol routing AODV yang diberi nama protokol routing DP-AODV. Tingkat kepadatan node digunakan untuk menentukan besar kecilnya daya sinyal komunikasi yang dikeluarkan untuk mengurangi tabrakan sinyal sehingga mampu meningkatkan kinerja protokol routing. Hasil penelitian menunjukkan bahwa seiring terjadinya peningkatan kepadatan node, DP-AODV berhasil mengurangi delay dibanding protokol routing AODV pada tingkat kepadatan hingga 200 node. Protokol routing DP-AODV juga mampu meningkatkan nilai throughput dengan cara mengurangi tabrakan sinyal komunikasi.

Pada artikel [9] penulis melakukan penelitian untuk meningkatkan PDR dengan cara mengoptimasi penggunaan jarak sinyal komunikasi yang mampu bekerja secara adaptif yang diterapkan pada kerangka protokol routing DSDV. Jarak sinyal komunikasi adaptif yang digunakan mulai dari jarak 20 meter hingga 250 meter dengan kepadatan node yang digunakan adalah 25 node, 50 node, dan 100 node pada *network area* 250 m² dan 500 m². Hasil penelitian menunjukkan bahwa dengan melakukan penyesuaian jarak sinyal komunikasi yang baik mampu meningkatkan nilai PDR, namun terdapat nilai PDR yang kurang baik pada jarak sinyal komunikasi yang kecil dikarenakan adanya paket yang hilang dan harus melakukan ulang pengiriman paket.

Pada artikel [10] dilakukan penelitian dengan mencoba berbagai macam jarak sinyal komunikasi menggunakan protokol routing DSR, AODV, dan DSDV.

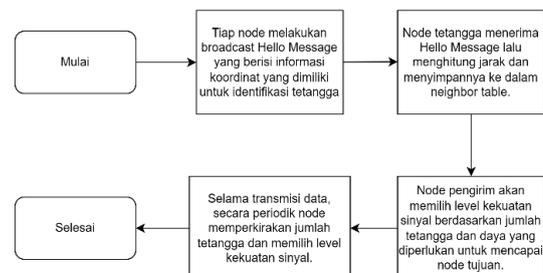
Variasi jarak sinyal komunikasi yang digunakan mulai dari jarak 100 meter hingga 550 meter dengan Tingkat kepadatan node sebanyak 50 node pada *network area* 1000 m². Hasil penelitian menunjukkan bahwa protokol routing AODV dan DSR mampu memberikan nilai throughput dan PDR yang baik dengan jarak sinyal komunikasi maksimum. Sedangkan protokol routing DSDV memberikan nilai end-to-end delay yang lebih baik.

Penelitian [11] mencoba melakukan beberapa variasi jarak sinyal komunikasi yang dilakukan pada protokol routing DSDV, AODV dan DSR di lingkungan Vehicular Mobile Adhoc Networks (VANETs). Pada penelitian ini ingin dilihat pengaruh variasi jarak sinyal komunikasi terhadap throughput, delay, dan PDR dengan tingkat kepadatan 30 node, 40 node, 50 node, dan 70 node. Variasi jarak sinyal komunikasi yang digunakan pada penelitian ini adalah sebesar 100, 200, 300, 400, 500, dan 600 meter. Lalu ketiga protokol routing akan dibandingkan mana yang memiliki kinerja paling baik. Hasil penelitian menunjukkan bahwa secara keseluruhan dengan adanya variasi sinyal komunikasi, ketiga protokol routing mampu memberikan nilai PDR yang lebih baik yaitu di atas 90%. Namun pada 30 node, protokol AODV dan DSR memberikan nilai PDR yang lebih baik dibanding protokol routing DSDV. Tetapi ketika jarak sinyal komunikasi bertambah, protokol routing AODV memiliki kinerja yang tidak baik dibanding protokol routing DSDV dan DSR.

3. METODE PENELITIAN

3.1 Dynamic Power FSR

Pada bagian ini akan dijelaskan mekanisme kerja metode DPT yang diterapkan pada kerangka protokol routing FSR yang disajikan berupa flowchart pada Gambar 2. Tahapan-tahapan akan dijelaskan secara rinci terkait penggunaan pesan Hello yang digunakan untuk menentukan kekuatan sinyal menggunakan metode DPT.



Gambar 2. Mekanisme Dynamic Power FSR

Gambar 2 merupakan proses penyesuaian jarak sinyal komunikasi pada protokol routing FSR. Berikut penjelasan dari tiap tahapnya :

1. Tiap node melakukan broadcast Hello Message yang berisi informasi koordinat yang dimiliki untuk identifikasi tetangga.

Protokol routing FSR secara berkala mengirim paket Hello untuk mengidentifikasi tetangganya. Gambar 3 merupakan struktur pesan paket Hello protokol routing FSR. Bagian yang berwarna abu-abu merupakan parameter koordinat yang ditambahkan pada paket Hello FSR.

Reserved		HTime	Willingness
Link Code	Reserved	Link Message Size	
Neighbor Interface Address			
Neighbor Interface Address			
xPos	yPos	zPos	

Gambar 3. Struktur Hello Message FSR

2. Node tetangga menerima Hello Message lalu menghitung jarak dan menyimpannya ke dalam neighbor table.

Jika $x = (x_2 - x_1)^2$ dan $y = (y_2 - y_1)^2$ maka jarak dapat dihitung menggunakan rumus pada persamaan 1.

$$d(x, y) = \sqrt{(x_2 - x_1)^2 + (y_2 - y_1)^2} \quad (1)$$

Jarak dihitung menggunakan persamaan Euclidean berdasarkan koordinat dari node yang diterima melalui paket Hello. Node-node tersebut mengirimkan dan memperbarui lokasinya melalui pesan balasan paket Hello. Ketika node mengetahui jaraknya, maka level kekuatan sinyal komunikasi dapat dipilih.

3. Node pengirim akan memilih level kekuatan sinyal berdasarkan jumlah tetangga dan daya yang diperlukan untuk mencapai node tujuan.

Saat mengirimkan paket ke node tujuan, node akan memilih level kekuatan sinyal komunikasi berdasarkan jumlah tetangga dan daya yang diperlukan untuk mencapai tujuan.

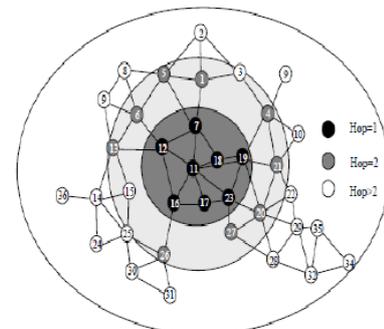
4. Selama transmisi data, secara periodik node memperkirakan jumlah tetangga dan memilih level kekuatan sinyal.

Tabrakan sinyal komunikasi dapat dihindari dengan cara mengurangi jarak kekuatan sinyal komunikasi node namun koneksi tetap terjaga. Ketika paket Hello diterima secara periodik, node menghitung jarak sinyal komunikasi di area kepadatan node. Hal ini kemudian digunakan untuk melakukan estimasi dan memilih kekuatan sinyal komunikasi sehingga kinerja protokol routing dapat ditingkatkan dengan baik.

3.2 Protokol Routing FSR

FSR (*Fisheye State Routing*) adalah protokol routing proaktif yang dirancang khusus untuk jaringan MANET yang dinamis dan sering berubah-ubah topologinya. Salah satu fitur utama FSR adalah kemampuannya untuk memperbarui informasi topologi dengan mempertimbangkan jarak dan arah node.

Routing protokol FSR merupakan jenis protokol routing proaktif yang menggunakan algoritma *link state* untuk menemukan rute terbaik antara dua node dalam jaringan MANET. Setiap node secara berkala mengirim pesan Hello ke node-node tetangganya. Pesan Hello berisi informasi tentang node tetangga. Ketika node ingin mengirim data ke node lain, node tersebut akan mencari rute di tabel routingnya. Tabel routing berisi informasi tentang semua link dalam jaringan, yaitu panjang link, *link cost*, dan node tetangga yang terhubung ke link tersebut. Setelah tabel routing dibentuk, setiap node menggunakan algoritma link state untuk menentukan rute terbaik antara dua node. Jika rute tidak ditemukan, node akan memulai proses pencarian rute. Node akan mengirim pesan "Route Request" ke node tetangganya. Node tetangga akan meneruskan pesan *Route Request* ke node tetangganya, dan seterusnya. Ketika node tujuan menerima pesan Route Request, node tersebut akan mengirim pesan Route Reply kembali ke node pengirim. Pesan Route Reply berisi rute terbaik dari node tujuan ke node pengirim.



Gambar 4. Mekanisme kerja FSR

Lingkaran dengan warna abu-abu tua pada Gambar 4 adalah lingkup fisheye yang berhubungan langsung dengan node center (pusat). Cakupan (*scope*) didefinisikan sebagai himpunan node yang dapat dicapai oleh jumlah hop tertentu [12]. Dalam protokol routing FSR, setiap melakukan update pesan, pesan tersebut tidak berisi informasi tentang semua node. FSR mengurangi ukuran pesan dengan cara bertukar informasi tentang node yang jaraknya lebih dekat (dalam cakupan fisheye) dibandingkan dengan node yang lebih jauh (node yang berada di luar cakupan fisheye). Cakupan ini didefinisikan berdasarkan node yang dapat dicapai dalam jumlah hop tertentu. Jadi, setiap node mendapatkan informasi akurat tentang node tetangga terdekatnya, dan keakuratan informasi tersebut menurun seiring dengan bertambahnya jarak dari node (hop).

3.3 Model Kekuatan Sinyal

Free Space Propagation Model dan *Two-Ray Propagation Model* digunakan untuk menghitung kekuatan sinyal yang diterima dari setiap paket antara node tetangga [7]. Kedua model propagasi tersebut merupakan model propagasi standar yang ada pada Network Simulator 2 (NS-2) yang digunakan pada penelitian ini.

Free Space Propagation Model merupakan propagasi langsung antara antena pemancar dan antena penerima, tanpa ada penghalang diantaranya. *Two-Ray Propagation Model* merupakan model perambatan sinyal nirkabel yang memperhitungkan dua jalur yaitu langsung (*line-of-sight*) dan terpantul dari permukaan tanah. Jalur pantulan dari permukaan tanah merupakan sinyal yang dipancarkan dari antena mengalami pantulan dari permukaan tanah sebelum mencapai penerima.

Hubungan antara kekuatan sinyal yang ditransmisikan (P_t) dan kekuatan sinyal yang diterima (P_r) didefinisikan pada persamaan 2 berikut [7]:

$$P_r = \frac{P_t * G_t * G_r * \lambda^2}{(4\pi)^2 d^2 L} \quad (2)$$

dimana,

P_r = Received Signal Power

P_t = Transmitted Signal Power

G_t = Transmission Antenna Gain

G_r = Receiver Antenna Gain

d = Distance between the Transmitter and Receiver

L = System Loss

λ = Wavelength

Persamaan 2 merupakan persamaan yang digunakan untuk model propagasi Free Space,

sedangkan untuk model propagasi Two-Ray Ground menggunakan persamaan 3 sebagai berikut [7]:

$$P_r = \frac{P_t * G_t * G_r * h_t^2 * h_r^2}{d^4 L} \quad (3)$$

dimana,

h_t = Height Transmitter Antenna

h_r = Height Receiver Antenna

P_t = Transmitted Signal Power

G_t = Transmission Antenna Gain

G_r = Receiver Antenna Gain

d = Distance between the Transmitter and Receiver

L = System Loss

Pada Gambar 5, untuk menghitung *cross over distance* antara dua buah node dapat menggunakan persamaan 3 berikut [7]:

$$dc = \frac{4\pi * h_t * h_r}{\lambda} \quad (4)$$

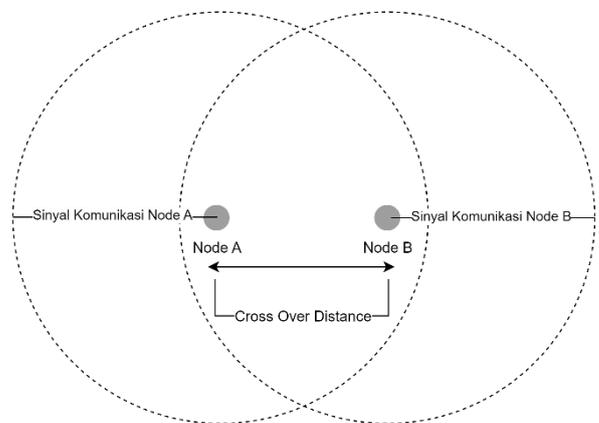
dimana,

dc = Cross Over Distance

h_t = Height Transmitter Antenna

h_r = Height Receiver Antenna

λ = Wavelength



Gambar 5. Cross Over Distance

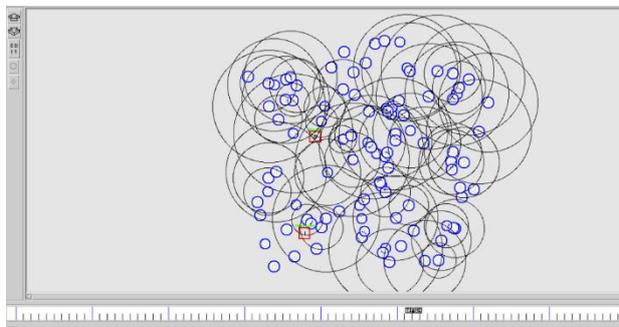
Transmisi antara suatu node pengirim dan node penerima dikatakan berhasil jika kekuatan sinyal yang diterima berada di atas ambang batas (tingkat kekuatan sinyal minimum yang diperlukan agar sinyal radio dapat dideteksi) tertentu. Namun, jika kekuatan sinyal yang diterima berada di bawah ambang batas, maka transmisi tidak terdeteksi.

3.4 Tabrakan Sinyal

Tabrakan sinyal adalah salah satu faktor utama yang dapat menurunkan kinerja dan keandalan jaringan tanpa kabel. Tabrakan sinyal terjadi ketika dua atau lebih sinyal radio dengan frekuensi yang sama saling tumpang tindih, sehingga menyebabkan distorsi pada sinyal yang diterima. Hal ini sering terjadi dalam lingkungan perkotaan dimana sinyal dapat dipantulkan oleh bangunan, dinding, atau objek lainnya. Jika sinyal-sinyal ini saling mengganggu, kualitas komunikasi dapat menurun, dan *throughput* data dapat terpengaruh.

Dalam menghadapi tabrakan sinyal, penting untuk menerapkan strategi manajemen kekuatan sinyal yang efektif dan desain jaringan yang memperhitungkan faktor-faktor lingkungan yang dapat mempengaruhi kualitas sinyal, sehingga perangkat komunikasi dapat beroperasi dengan baik tanpa gangguan sinyal yang signifikan.

Gambar 6 menunjukkan ilustrasi jaringan MANET yang dijalankan pada network simulator NS-2, Dimana pada jaringan tersebut terdapat banyak node yang saling berkomunikasi. Garis hitam berbentuk lingkaran merupakan area atau radius sinyal komunikasi sebuah node. Terdapat tabrakan sinyal komunikasi yang terjadi pada semua node, yang dapat menurunkan performa jaringan. Pada Gambar 6 tersebut, seluruh node menggunakan kekuatan sinyal komunikasi yang tetap.



Gambar 6. Visualisasi tabrakan sinyal komunikasi antar node pada simulator NS-2

3.5. Hubungan Kekuatan Sinyal dengan Energi Node

Pada jaringan MANET, energi merupakan sumber daya yang sangat penting dan terbatas. Setiap node dalam jaringan MANET memiliki baterai yang menjadi sumber energinya. Kapasitas baterai ini menentukan berapa lama node dapat beroperasi sebelum baterai habis dan perlu diisi ulang.

Kekuatan sinyal memiliki hubungan yang erat dengan konsumsi energi node. Hal ini disebabkan karena node harus meningkatkan daya pancarnya

untuk mencapai node lain. Peningkatan kekuatan sinyal akan meningkatkan konsumsi energi secara signifikan. Penting untuk menjaga kekuatan sinyal pada jaringan MANET agar konsumsi energi node dapat diminimalisir. Pengelolaan kekuatan sinyal dengan bijak dapat membantu meminimalkan konsumsi energi pada node, memperpanjang umur baterai, dan meningkatkan kinerja keseluruhan dari jaringan MANET.

4. HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Parameter Skenario Simulasi

Penelitian ini menggunakan network simulator NS-2 versi 2.35 yang diinstal pada sistem operasi Linux Ubuntu versi 14 untuk mensimulasikan jaringan dengan berbagai kepadatan node. Implementasi metode DPT diterapkan pada modul protokol routing FSR yang terdapat pada NS-2 menggunakan bahasa pemrograman C++. *Script* simulasi jaringan menggunakan bahasa pemrograman *Tool Command Language (TCL)* yang dijalankan pada NS-2 versi 2.35. *Output* hasil simulasi berupa *file trace* berekstensi (.tr) yang kemudian dilakukan *filtering* terhadap *file trace* tersebut menggunakan Bahasa pemrograman AWK untuk mendapatkan nilai *throughput*, *end to end delay*, dan PDR.

Kepadatan node yang digunakan adalah 75, 100, 150, dan 200 node. Node-node tersebut di-generate secara acak di area seluas 1000x1000 meter persegi dan bergerak bebas ke segala arah dengan kecepatan 30 meter per detik. Sedangkan energi awal node diset sebesar 100 Joule. Simulasi dijalankan selama 300 detik. Detail parameter skenario simulasi dapat dilihat di TABEL I.

TABEL I. PARAMETER SKENARIO SIMULASI

Versi Network Simulator	NS-2.35
Jumlah kepadatan node	75, 100, 150, 200 node
Kecepatan node	30 m/s
Luas area simulasi	1000x1000 m ²
Protokol routing	DPT-FSR dan FSR
Model propagasi	Free Space dan Two-Ray
Model mobilitas	Random Waypoint
Waktu simulasi	300 detik
Model antena	Omni-directional
MAC protocol	IEEE 802.11
Pola trafik	CBR
Inisial Energi	100 Joule

4.2 Pengukuran Kinerja Jaringan

Evaluasi kinerja jaringan dilakukan melalui pengukuran tiga parameter, yakni *throughput*, *end-to-end delay*, dan *Packet Delivery Ratio (PDR)*. Data hasil pengujian kinerja jaringan diperoleh melalui pengolahan data mentah dari trace file yang dihasilkan oleh NS-2, menggunakan Bahasa Pemrograman AWK.

Throughput berfungsi sebagai metrik untuk mengukur volume data atau informasi yang dapat dipindahkan melalui suatu jaringan dalam rentang waktu tertentu [13]. Tingkat *throughput* yang lebih tinggi menunjukkan kapasitas jaringan yang lebih besar, memungkinkan transfer data yang lebih besar dalam interval waktu tertentu, yang pada gilirannya dapat meningkatkan kinerja jaringan. *Throughput* tidak hanya tergantung pada kapasitas jaringan, tetapi juga dipengaruhi oleh faktor-faktor lain seperti latensi, stabilitas jaringan, dan variabel lingkungan lainnya. Pengukuran *throughput* dapat dilakukan menggunakan Persamaan 5, dan hasilnya diungkapkan dalam satuan kilo bit per detik (kbps).

$$\text{Throughput} = \frac{\text{Jumlah data yang dikirim}}{\text{Waktu pengiriman}} \quad (5)$$

PDR merupakan indikator penting untuk mengukur kinerja jaringan nirkabel, khususnya pada jaringan MANET. PDR menunjukkan efektivitas jaringan dalam mentransmisikan data dengan menghitung rasio antara jumlah paket data yang berhasil diterima dengan jumlah total paket data yang dikirim [13]. Dalam jaringan MANET, paket data dapat hilang atau rusak selama proses pengiriman karena berbagai faktor, seperti tabrakan sinyal komunikasi, attenuasi, atau kegagalan jaringan. Oleh karena itu, PDR menjadi parameter penting untuk mengevaluasi kualitas jaringan. PDR biasanya diukur dalam persentase. Semakin tinggi nilai PDR, semakin baik kinerja jaringan dalam mentransmisikan data. Sebagai contoh, jika dari 100 paket data yang dikirim, 80 paket berhasil diterima, maka nilai PDR adalah 80%. PDR yang tinggi menunjukkan kualitas jaringan yang baik. PDR dapat dihitung menggunakan persamaan 6.

$$\text{PDR} = \frac{\text{Jumlah data yang diterima}}{\text{Jumlah data yang dikirim}} \times 100\% \quad (6)$$

End-to-end delay mengacu pada waktu total yang dibutuhkan sebuah paket data untuk dikirimkan, diterima, dan diakui oleh pengirim [13]. Nilai semakin kecil menunjukkan kinerja protokol yang lebih baik. Persamaan 7 dapat digunakan untuk menghitung end-to-end delay.

$$\text{End to End Delay} = \frac{\text{Jumlah waktu tempuh paket}}{\text{Jumlah paket yang diterima}} \quad (7)$$

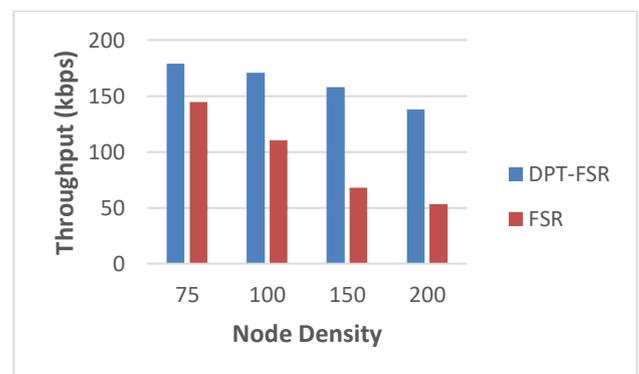
Total energi yang dikonsumsi oleh sebuah node dalam jaringan MANET dapat dihitung dari penjumlahan energi yang digunakan untuk mentransmisikan paket data dan energi yang digunakan menerima paket data [14]. Energi yang ditransmisikan dan energi yang diterima dalam satuan joule dapat dihitung dari persamaan 8 dan persamaan 9.

$$\text{Transmitted Energy} = \frac{\text{TxPower} \times \text{PacketSize}}{2} \quad (8)$$

$$\text{Receiving Energy} = \frac{\text{RxPower} \times \text{PacketSize}}{2} \quad (9)$$

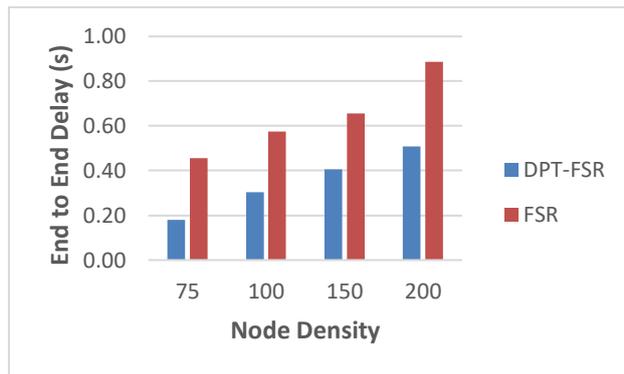
4.3 Hasil dan Analisis

Bagian ini memaparkan hasil simulasi jaringan yang telah dilakukan dengan menggunakan simulator jaringan NS-2 versi 2.35. Hasil simulasi ditampilkan dalam bentuk grafik dengan parameter uji *throughput*, *end-to-end delay*, dan PDR. Nilai-nilai parameter uji tersebut diambil dari file trace menggunakan bahasa pemrograman AWK.



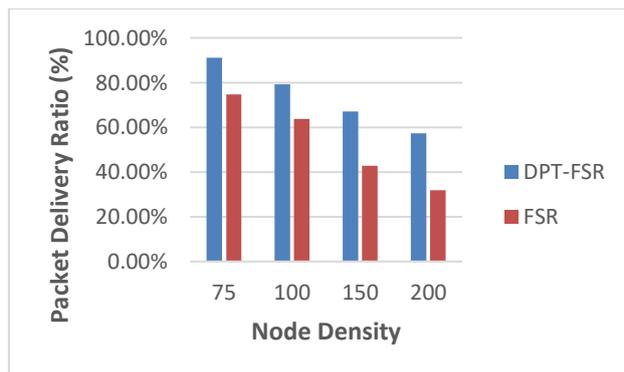
Gambar 5. Node density vs throughput

Pada Gambar 5, terlihat bahwa throughput yang dihasilkan oleh protokol routing DPT-FSR mengalami peningkatan yang sangat signifikan dibandingkan dengan protokol routing FSR standar seiring dengan meningkatnya jumlah kepadatan node. Untuk Tingkat kepadatan 75 node, 100 node, 150 node, dan 200 node secara berturut-turut throughput meningkat sebesar 34.36%, 60.58%, 90.29%, dan 84.74%. Hal ini disebabkan oleh berkurangnya pemborosan penggunaan *bandwidth* oleh paket data dalam proses penemuan rute.



Gambar 6. Node density vs end to end delay

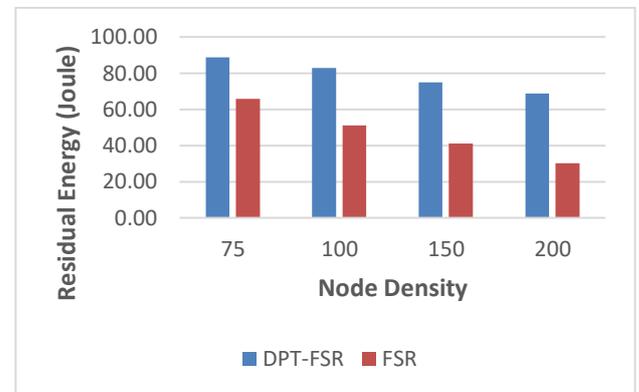
Pada Gambar 6 terlihat bahwa nilai *end to end delay* berkurang pada berbagai tingkat kepadatan node dengan menggunakan protokol routing DPT-FSR. Pada Tingkat kepadatan 75 node, 100 node, 150 node dan 200 node secara berturut-turut mengalami penurunan end to end delay sebesar 27.52%, 27.25%, 25.08%, dan 37.91%. Untuk rute-rute yang memiliki probabilitas keberhasilan yang lebih tinggi, protokol routing DPT-FSR memberikan kemampuan waktu yang lebih singkat ketika mentransmisikan data dibandingkan dengan protokol routing FSR standar. Hal ini terjadi karena protokol routing DPT-FSR yang diusulkan membatasi kepadatan node dengan mengontrol kekuatan sinyal komunikasi. Namun protokol routing DPT-FSR dan FSR standar memiliki kesamaan yaitu ketika tingkat kepadatan node bertambah, maka nilai end to end delay juga ikut meningkat.



Gambar 7. Node density vs PDR

Pada Gambar 7 terlihat bahwa nilai PDR selalu meningkat seiring bertambahnya kepadatan node jika menggunakan protokol routing DP-FSR dibandingkan dengan protokol routing FSR standar. Pada Tingkat kepadatan 75 node, 100 node, 150 node dan 200 node secara berturut-turut mengalami peningkatan sebesar 16.44%, 15.45%, 24.13%, dan 25.50% karena metode

yang diusulkan membatasi kepadatan node dengan mengontrol kekuatan sinyal komunikasi. Paket yang hilang terjadi pada protokol FSR standar karena menggunakan kekuatan sinyal komunikasi yang tetap sehingga cukup banyak tabrakan sinyal yang terjadi.



Gambar 8. Node density vs residual energy

Pada Gambar 8, energy awal yang diberikan ke semua node adalah sebesar 100 joule. Terlihat bahwa protokol routing DPT-FSR memberikan nilai *residual energy* yang lebih baik dibandingkan dengan protokol routing FSR standar di semua nilai *node density*. Pada *node density* 200 node, terjadi perbedaan residual energy yang cukup signifikan dimana node energi yang menggunakan protokol routing FSR standar mengalami penurunan energi sangat drastis, sedangkan protokol routing DPT-FSR penurunannya tidak terlalu banyak dikarenakan protokol routing DPT-FSR memiliki kemampuan mengurangi tabrakan sinyal dengan memanfaatkan *node density*.

5. KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil ujicoba dari skenario simulasi jaringan yang telah diberikan, dapat disimpulkan bahwa :

1. Protokol routing DPT-FSR mampu memberikan rata-rata peningkatan throughput sebesar 67.49%, peningkatan PDR sebesar 20.38%, dan mengurangi end to end delay sebesar 29.44% dari berbagai variasi kepadatan node.
2. Pada kepadatan 75 node, nilai throughput dan PDR yang dihasilkan oleh kedua protokol routing memiliki perbedaan yang tidak terlalu jauh, namun protokol routing DPT-FSR tetap memberikan kinerja yang lebih baik.
3. Pada tingkat kepadatan node yang lebih tinggi seperti 150 node dan 200 node, protokol routing DPT-FSR memberikan perbedaan hasil yang sangat baik dan signifikan pada nilai throughput

- dan PDR dibandingkan dengan protokol routing FSR standar.
4. Sinyal yang dipancarkan sebuah node untuk mengirim dan menerima paket data membutuhkan energi. Protokol routing DPT-FSR mampu memberikan nilai *residual energy* yang lebih baik dibandingkan dengan protokol routing FSR standar. Terjadi perbedaan yang cukup signifikan pada kepadatan node 200 dimana protokol routing FSR standar mengkonsumsi energi yang sangat banyak dibanding dengan protokol routing DPT-FSR.
 5. Penggunaan algoritma *Dynamic Power Transmission* mampu mengurangi tabrakan sinyal komunikasi dan cocok diterapkan pada protokol routing FSR dengan lingkungan simulasi yang diberikan pada penelitian ini.

5.2 Saran

Untuk penelitian selanjutnya diharapkan perlu dilakukan analisis dan ujicoba protokol DPT-FSR terhadap variasi kecepatan node dan luas area jaringan untuk mengetahui efektifitas pengelolaan tabrakan sinyal menggunakan metode DPT.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] A. H. Jatmika, N. Alamsyah, and R. B. Huwae, "Analisis Perbandingan Konsumsi Energi Pada Protokol Routing PA-AOMDV dan AOMDV Standar Di Jaringan MANET," *Jurnal Teknologi Informasi, Komputer dan Aplikasinya (JTika)*, vol. 5, no. 1, pp. 112–119, Mar. 2023.
- [2] A. K. Chęcińska, R. Chęciński, P. Z. Gajewski, and J. Lopatka, "Cognitive Radio MANET Waveform Design and Evaluation," *Multidisciplinary Digital Publishing Institute (MDPI)*, Feb. 2021.
- [3] A. M. Soomro *et al.*, "Comparative Review of Routing Protocols in MANET for Future Research in Disaster Management," *Journal of Communications*, vol. 17, no. 9, pp. 734–744, Sep. 2022.
- [4] B. Ilyas and D. Fedoua, "A Novel Proactive Routing Method for Mobile Ad Hoc Networks," *Am J Appl Sci*, vol. 12, no. 6, pp. 382–402, Jun. 2015, doi: 10.3844/ajassp.2015.382.402.
- [5] W. Zhang and S. Jiang, "Effect of Node Mobility on MU-MIMO Transmissions in Mobile Ad Hoc Networks," *Wirel Commun Mob Comput*, May 2021.
- [6] R. Dionisio, F. Ribeiro, and J. Metrolho, "Radio Interference of Wireless Networks and the Impact of AR/VR Applications in Industrial Environments," *Multidisciplinary Digital Publishing Institute (MDPI)*, Dec. 2022.
- [7] A. Bamhdi, "Efficient Dynamic-Power AODV Routing Protocol Based on Node Density," *Computer Standards & Interfaces*, pp. 1–17, Dec. 2020.
- [8] D. Ardiani, A. H. Jatmika, and A. Zubaidi, "Modifikasi Protokol Routing DSDV Menggunakan Algoritma Dynamic-power transmission untuk Mengurangi Interferensi Sinyal dalam Pengiriman Data Berdasarkan Tingkat Kepadatan Node di Jaringan MANET," *J-COSINE (Journal of Computer Science and Informatics Engineering)*, vol. 7, no. 2, pp. 125–133, 2023.
- [9] S. Baloch, K. Soomro, S. Abbasi, S. Abrejo, A. Baig, and S. Baloch, "Efficient Optimization of Adaptive Transmission Range in Manets to Maximize the Packet Delivery Ratio," *International Journal of Innovations in Science & Technology*, vol. 5, no. 3, pp. 270–283, Sep. 2023.
- [10] U. Zeb, W. Khan, S. Irfanullah, and A. Salam, "The Impact of Transmission Range on Performance of Mobile Ad-hoc Network Routing Protocols," in *3rd International Conference on Computing, Mathematics and Engineering Technologies – iCoMET 2020*, Sukkur, Pakistan: Institute of Electrical and Electronics Engineers (IEEE), Jan. 2020.
- [11] Md. J. Islam, A. Khatun, Mahin, and N. Islam, "Evaluating the Effect of Transmission Range (TX) on the Performance of DSDV, AODV and DSR in Vehicular Ad hoc Network (VANET) Traffic Scenarios," in *International Conference on Computer, Communication, Chemical, Materials and Electronic Engineering (IC4ME2)*, Rajshahi, Bangladesh: Institute of Electrical and Electronics Engineers (IEEE), Jul. 2019.
- [12] K. Sahadevaiah and O. B. Venkata Ramanaiah, "An Empirical Examination of Routing Protocols in Mobile Ad Hoc Networks," *International Journal of Communications, Network and System Sciences*, vol. 03, no. 06, pp. 511–522, 2010, doi: 10.4236/ijcns.2010.36069.
- [13] T. K. Priyambodo, D. Wijayanto, and M. S. Gitakarma, "Performance Optimization of MANET Networks through Routing Protocol Analysis," *Computers*, vol. 10, no. 1, p. 2, Dec. 2020, doi: 10.3390/computers10010002.
- [14] M. A. Saad, H. J. Alhmdane, A. H. Ali, S. Alani, M. M. Hashim, and B. Hasan, "Total energy consumption analysis in wireless mobile ad hoc network with varying mobile nodes," *Indonesian Journal of Electrical Engineering and Computer Science*, vol. 20, no. 3, p. 1397, Dec. 2020, doi: 10.11591/ijeecs.v20.i3.pp1397-1405.