KINERJA *ROUTING FISHEYE STATE ROUTING* (FSR) PADA JARINGAN WPAN 802.15.4 (*ZIGBEE*) TOPOLOGI *MESH*

Sabri Alimi[*)], Sukiswo, and Imam Santoso

Jurusan Teknik Elektro, Universitas Diponegoro
Jln. Prof. Sudharto, SH, Kampus UNDIP Tembalang, Semarang 50275 Indonesia

[*)]*E-mail: abi_x52@yahoo.com*

Abstrak

Wireless Personal Area Network (WPAN) adalah jaringan tanpa kabel yang menghubungkan perangkat komunikasi jarak dekat. Jaringan WPAN hanya membutuhkan daya yang rendah dan hanya memiliki cakupan area sempit. Salah satu teknologi yang termasuk jaringan WPAN adalah Zigbee. Zigbee dapat diimplementasikan pada gedung ataupun taman kota untuk menghubungkan berbagai macam perangkat sensor dan kendali pada waktu bersamaan. Dibutuhkan parameter yang tepat agar jaringan WPAN dapat berkomunikasi dengan optimal. Berdasarkan implementasi Zigbee, pada penelitian ini dibuat simulasi dengan software Network Simulator 2 (NS2) untuk menganalisis kinerja routing FSR pada jaringan WPAN. Dalam pengujiannya akan digunakan variasi jumlah node, yaitu 5 node, 20 node, 40 node, dan 60 node. Jarak coverage area masing-masing node adalah 10 meter. Routing protocol yang digunakan adalah Fisheye State Routing (FSR), topologi mesh, model antena omni, tipe antrian first in first out, dan model propagasi radio two ray ground. Unjuk kinerja jaringan WPAN dengan routing FSR dianalsis menggunakan parameter throughput, data delay, dan packets delivery ratio (PDR). Analisis kinerja routing FSR pada jaringan WPAN skenario pertama didapatkan nilai throughput 12,3821 Kbps, delay 0,0303878 detik , dan PDR 86,878 %. Skenario kedua didapatkan nilai throughput 13,6707 Kbps, delay 0,041207 detik, PDR 89,9388 %. Skenario ketiga didapatkan nilai throughput 14,7421, delay 0,0459898 detik, dan PDR 87,9066 %. Skenario keempat didapatkan nilai throughput 23,6648 Kbps, delay 0,0529184 detik, dan PDR 88,3298 %.

Kata Kunci : FSR , Zigbee, *kinerja jaringan WPAN, NS-2*

Abstract

Wireless Personal Area Network (WPAN) is a network that connects wireless communication devices at close range. WPAN networks only require low power and only has a small area coverage. One technology that includes network WPAN is Zigbee. Zigbee can be implemented on a building or a city park to connect a variety of sensors and control devices at the same time. It takes the right parameters for the network WPAN can communicate optimally. Based on Zigbee implementation, the research is simulation software with Network Simulator 2 (NS2) to analyze the routing performance of FSR on WPAN network. In the testing will be used variations node number, ie 5 nodes, 20 nodes, 40 nodes, and 60 nodes. Distance coverage area of each node is 10 meters.Routing protocol used is Fisheye State Routing (FSR), mesh topology, omni antenna models, the type of first-in, first-out queue, and models two ray ground radio propagation. Performance WPAN network performance by using parameters dianalsis FSR routing throughput, data delay and packets delivery ratio (PDR). Analysis FSR routing performance in the first scenario WPAN network throughput values obtained 12,3821 Kbps, delay 0,0303878 seconds and PDR 86,878 %. The second scenario obtained value 13,6707 Kbps throughput, delay 0,041207 seconds, PDR 89,9388 %. The third scenario obtained throughput values 14,7421, 0,0459898 seconds delay and PDR 87,9066 %. The fourth scenario obtained values 23,6648 Kbps throughput, delay 0,0529184 seconds, and PDR 88,3298 %.

Keywords: FSR, Zigbee, WPAN network performance, NS-2

1. Pendahuluan

Teknologi telekomunikasi pada saat ini telah digunakan untuk bermacam-macam kebutuhan. Setiap pengguna dapat memilih jenis teknologi telekomunikasi yang sesuai untuk mengirimkan dan menerima informasi dengan cepat dan efisien. Dalam perkembangan teknologi informasi terdapat sebuah jaringan yang tidak menggunakan media kabel untuk mengalirkan informasi yang disebut jaringan *wireless*. Peralatan komunikasi

yang menggunakan jaringan *wireless* bersifat *mobile* selama dalam *coverage area*. Dua jenis jaringan wireless yang mempunyai *coverage area* yang tidak begitu luas (lokal) adalah Wireless Local Area Network (WLAN) dan Wireless Personal Area Network (WPAN). *ZigBee* merupakan salah satu dari teknologi WPAN yang sedang berkembang pesat. Kelebihan yang dimiliki *ZigBee* adalah biaya dan konsumsi daya yang rendah walaupun *coverage area* tidak begitu luas (*short range*). Teknologi ini sesuai untuk diimplementasikan pada peralatan *wireless* yang berada dalam rumah, perkantoran, taman kota, dan lain-lain. Kinerja jaringan WPAN akan optimal jika parameter-parameter jaringan WPAN sesuai dengan kondisi lingkungan dan peralatan. Parameter metode *routing* pada penelitian ini menggunakan *Fisheye State Routing* (FSR). FSR adalah metode *routing* yang dapat membuat jalur komunikasi berdasarkan informasi yang terdapat pada tabel *routing.*

Metode *routing yang telah dilakukan untuk* jaringan WPAN dengan teknologi *ZigBee* adalah *routing* protocol *Dynamic Source Routing* (DSR), dan *Ad-hoc On-demand Distance Vector* (AODV). Penelitian sebelumnya telah meneliti *routing* AODV dan DSR[1]. *Routing protocol* DSR bekerja berdasarkan *routing* dari node sebelumnya. Proses *routing* terdiri atas dua bagian, *route discovery* dan *route maintenance*. Metode *routing* DSR mempunyai mobilitas tinggi dan performa yang baik pada perubahan kapasitas jaringan, namun ketika jaringan semakin besar permintaan alokasi *bandwith* bertambah. *Routing protocol* AODV mengacu kepada *routing protocol* DSR dengan penambahan fungsi *broadcast* untuk meminta rute. Protokol ini mampu menangani perubahan topologi dan mempunyai performa baik saat kapasitas jaringan bertambah pada jaringan yang mempunyai tingkat mobilitas dan *volume* tinggi. Metode *routing* FSR pada penelitian sebelumnya telah digunakan pada jaringan WLAN[2]. Metode *Routing* FSR mampu menangani permasalahan *update routing* berlebihan pada jaringan dengan jumlah *node* yang besar.

Software yang akan digunakan dalam simulasi penelitian ini adalah *Network Simulator 2* (NS2). Beberapa parameter yang banyak digunakan untuk menganalisa kinerja jaringan *wireless* adalah *throughput*, *link budget*, *jitter*, *packets delivery ratio* (PDR). Parameter kinerja jaringan yang digunakan pada penelitian ini adalah *throughput*, *delay*, dan PDR. Disiplin antrian yang digunakan adalah FIFO (*First In First Out*), yaitu paket yang lebih dahulu datang maka paket tersebut yang lebih dahulu dilayani. Topologi jaringan yang digunakan adalah *mesh network.*

2. Dasar Teori

2.1 Jaringan Wireless

Jaringan *wireless* merupakan sekumpulan perangkat komunikasi yang saling terhubung antara satu dengan yang lain sehingga terbentuk sebuah jaringan komunikasi dengan tanpa menggunakan media kabel (nirkabel) namun menggunakan media gelombang radio sebagai jalur lalu lintas datanya. Jaringan nirkabel dibentuk dari *host* dan *rute*. *Host* adalah sumber pengaturan paket data, sedangkan rute berfungsi sebagai media atau jalur mengalirnya paket data.. *Access point* berperan untuk menghubungkan beberapa perangkat nirkabel dalam jaringan *wireless*. Jaringan *wireless* dapat diklasifikasikan ke dalam jenis-jenis yang berbeda berdasarkan pada *coverage area*, hasil klasisfikasinya adalah *Wireles Wide Area network, Wireless Metropolitan Area Network (Wireless MAN), Wireless Local Area Network (Wireless LAN),* dan *Wireless Personal Area Network (Wireless* PAN*)*. WPAN merupakan jaringan nirkabel tanpa infrastruktur yang memungkinkan beberapa data dan perangkat dapat berkomunikasi secara sendiri-sendiri [1].

2.2 Wireless Personal Area Network

Jaringan WPAN adalah pengembangan dari jaringan PAN dimana media aliran datanya masih menggunakan kabel, sedangkan WPAN tanpa menggunakan kabel. Jaringan WPAN memang memiliki jangkauan yang lebih pendek jika dibandingkan dengan jaringan *wireless* lainya seperti WLAN, WMAN, dan WWAN dikarenakan kebutuhan penggunaan jaringan WPAN dalam wilayah yang sempit. Jaringan WPAN memiliki kelebihan sebagai berikut [4] :

1) Konsumsi daya rendah.
2) Mobilitas (pergerakan) yang tinggi. WPAN memungkinkan pengguna untuk mengakses informasi dimanapun berada selama masih dalam jangkauan wilayah WPAN.
3) Kemudahan dan kecepatan instalasi. Instalasi WPAN mudah dan cepat karena dapat dilakukan tanpa harus menarik dan memasang kabel.
4) Fleksibel. Teknologi WPAN memungkinkan untuk membangun jaringan dimana kabel tidak dapat digunakan atau tidak memungkinkan untuk digunakan.
5) Biaya lebih murah, meskipun biaya instalasi awalnya WPAN lebih mahal dari PAN konvensional tetapi biaya pemeliharaannya lebih murah.
6) *Scalable*. WPAN dapat digunakan berbagai topologi jaringan sesuai dengan kebutuhan.

WPAN di atur oleh organisasi IEEE di dalam keluarga IEEE 802.15. Di bawah ini merupakan teknologi *wireless* yang termasuk dalam organisasi IEEE 802.15.

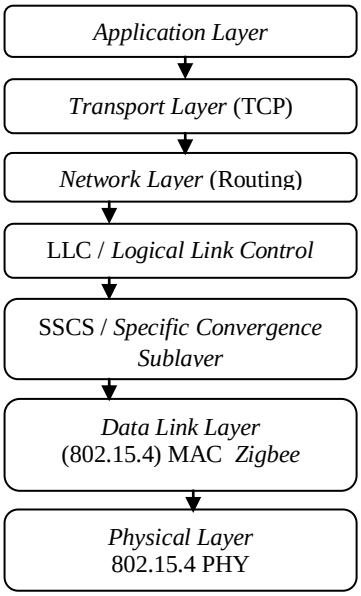
Tabel 1 Karakteristik teknologi WPAN [3]

Parameter	*Bluetooth* (802.15.1)	UWB (802.15.3)	*Zigbee* (802.15.4)
Band frekuensi	2.4 – 2.48 GHz	3.1 – 10.6 GHz	868 MHz, 902 – 928 MHz, 2.4 – 2.48 GHz
Laju data maksimal	3 Mbps	1 Gbps	20 Kbps 40 Kbps 250 Kbps

Modulasi	GFSK, 2PSK, 8PSK	QPSK, BPSK	BPSK (868 & 928 MHz), QPSK (2.4GHz)
Titik akses maksimal	7 *Nodes*	1 *Nodes*	65534 *Nodes*

2.3 Arsitektur WPAN

Gambar arsitektur WPAN terlihat pada gambar 1. Arsitektur WPAN terdiri dari penerima frekuensi radio yang merupakan pengontrol level bawah yang berada pada lapisan fisik, kemudian diatasnya ada lapisan data link (data link layer) yang di dalamnya terdapat sub lapisan MAC yang selain berfungsi untuk menghubungkan dengan lapisan fisik juga untuk mengkonfigurasi jaringan. Lapisan di atas *data link* adalah lapisan *network* yang berfungsi mencari jalan untuk pengiriman data (*messege routing*). Lapisan paling atas dalam arsitektur WPAN adalah lapisan aplikasi yang berfungsi untuk perangkat antar muka antara pengguna dan perangkat[4].



Gambar 1 Arsitektur WPAN[3]

2.4 *Zigbee* (IEEE 802.15.4)

Zigbee merupakan teknologi yang memfokuskan data *rate* rendah, konsumsi daya rendah, biaya rendah, target protokol jaringan *wireless* untuk aplikasi otomasi dan kendali remote. Komite IEEE 802.15.4 bekerja pada standar data rate rendah, kemudian *Zigbee Alliance* dan IEEE memutuskan bergabung dan *Zigbee* merupakan nama komersial (merk dagang) untuk teknologi ini. IEEE 802.15.4 fokus terhadap dua layer protokol bawah, yaitu *physical layer* dan MAC *layer*. Begitu juga, *Zigbee Alliance* bertanggung jawab pada layer protokol teratas (dari *Network* sampai dengan *Application layer*).

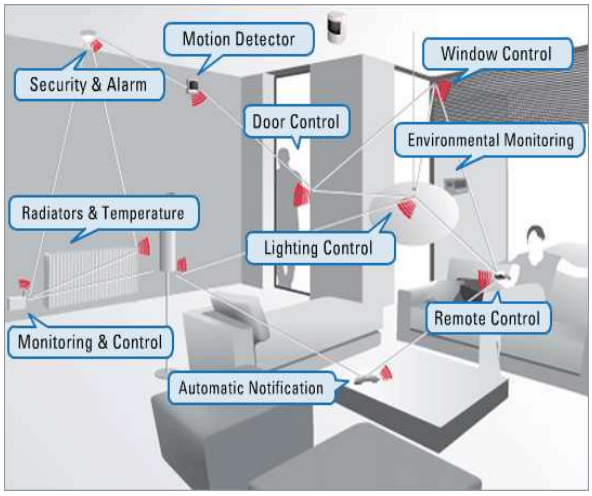
Zigbee termasuk dalam standard keluarga IEEE 802.15 bersama Bluetooth (IEEE 802.15.1) dan UWB (IEEE 802.15.3) dengan kode standard IEEE 802.15.4. *Zigbee* menggunakan tiga buah band frekuensi yang digunakan secara berbeda-beda. Pada saat ini frekuensi 915 MHz digunakan di Amerika, 868Mhz di Eropa, dan 2,4Ghz di seluruh dunia termasuk Indonesia. *Zigbee* sangat berbeda dibandingkan dengan kedua keluarganya yang lain, Bluetooth dan UWB. *Zigbee* hanya memiliki kecepatan maksimal komunikasi 3MBps dan telebih UWB yang memiliki kecepatan maksimal komunikasi 480 MBps karena *Zigbee* tidak digunakan untuk komunikasi yang membutuhkan kecepatan tinggi seperti untuk transmisi multimedia atau data yang besar[1]. Beberapa fitur utama *Zigbee* adalah sebagai berikut[6]:

1) Konsumsi energi yang sangat rendah. Pada sebagian besar waktu , *slave node* akan tidur dan hanya akan aktif untuk waktu-waktu tertentu untuk memberitahukan keadaannya atau mengirimkan informasi ke master *node*.

2) Fleksibel
   Teknologi WPAN memudahkan pembuatan jaringan baru dimana jaringan kabel tidak memungkinkan untuk digunakan.

3) Biaya lebih murah
   Biaya pemeliharaan jaringan WPAN lebih murah karena tidak memerlukan biaya perawatan kabel.

4) Mendukung jaringan yang berukuran kecil hingga sangat besar.WPAN dapat digunakan untuk berbagai topologi jaringan sesuai dengan kebutuhan.



Gambar 2 Aplikasi *Zigbee* [5]

2.5 Fisheye State Routing (FSR) [2]

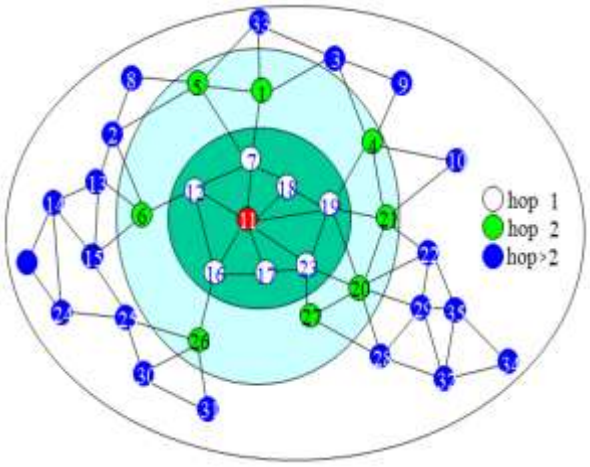
Routing adalah proses pengarahan paket data agar dapat sampai ke tujuan dari satu lokasi ke lokasi lain. Perangkat

yang digunakan untuk mengarahkan aliran data disebut *router*. *Router* merekomendasikan jalur yang digunakan untuk mengalirkan paket berdasarkan informasi yang terdapat pada *tabel routing*.

FSR didesain untuk jaringan tanpa infrastruktur yang mempunyai banyak *node*. Protokol FSR terdiri dari dua fase yaitu fase pencarian rute (*route discovery*) dan fase pemeliharaan rute (*route maintenance*). *Fisheye State Routing* adalah *routing protocol* proaktif (*table-driven*). Dasar dari FSR adalah *Link State Protocol* yang memiliki kemampuan untuk segera memberikan informasi rute (*link-state*) ketika diperlukan. FSR dapat mengurangi banyaknya *update* pesan *link-state* yang dapat mengakibatkan pembanjiran pada kanal oleh masing-masing sumber. Pengurangan jumlah umdate informasi *link-state* dilakukan dengan cara FSR lebih sering menyiarkan pesan topologi dengan *node* tetangga yang lebih dekat (dalam cakupan *scope*).

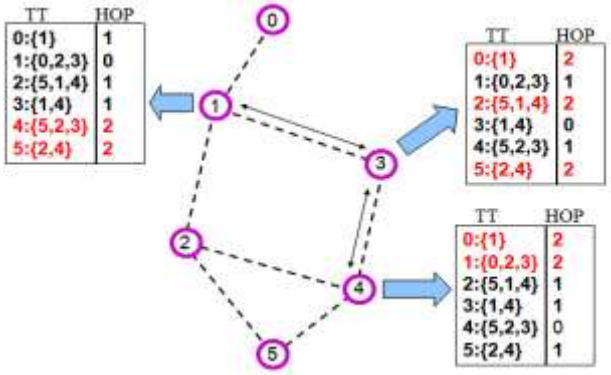
Rute FSR untuk setiap paket data sesuai dengan tabel *routing*. Tabel *routing* selalu menggunakan informasi topologi yang terbaru. Saat *update* rute sedang dilakukan pada ruang lingkup *fisheye*, *node* yang berada di dalam lingkup tidak akan kehilangan akurasi. Pertukaran informasi *node* untuk update *link-state* dengan *node* terdekat dikendalikan oleh parameter *scope* (pada dasarnya jumlah *hop*). Untuk *node* yang berada di luar lingkup, akurasi informasi routing bisa berkurang dikarenakan jarak yang lebih jauh, *update* dengan *node* tetangga yang berada di luar *scope* dikendalikan oleh parameter *Time Period of Update* (TPU).

Pada saat jaringan yang berkembang dengan jumlah *node* yang lebih banyak lagi, pesan *update* menggunakan *bandwidth* dalam jumlah besar yang dipengaruhi oleh periode *update*. Dalam rangka mengurangi pesan update tanpa mempengaruhi akurasi routing, FSR menggunakan teknik *fisheye*. Lingkaran dengan warna hijau tua gambar 3 adalah lingkup fisheye yang berhubungan langsung dengan *node* pusat. Ruang lingkup didefinisikan sebagai himpunan *node* yang dapat dicapai oleh jumlah hop tertentu.



Gambar 3 Ruang lingkup FSR [2]

Pengurangan *overhead* pada *update routing* diperoleh dengan menggunakan periode pertukaran yang berbeda untuk masukan yang berbeda di dalam *routing-table*. Lebih tepatnya, masukan yang sesuai dengan *node* dalam lingkup yang lebih kecil yang disebarkan ke *node* tetangga mendapatkan frekuensi terbanyak. Mengacu pada gambar 4 masukan dalam huruf waeba hitam adalah yang paling sering dipertukarkan. Sisa dari masukan dikirim keluar dengan frekuensi yang lebih rendah. Akibatnya sebagian besar masukan *link-state* ditekan pada *update* yang khas (*update* lebih sering pada *node* dengan jarak yang dekat), sehingga mengurangi ukuran pesan. Strategi ini menghasilkan *update* tepat dari *node* yang dekat, namun menciptakan *latency* besar dari *node* yang jauh. Rute untuk *node* yang jauh menjadi lebih akurat kerika paket semakin dekat dengan tujuan.

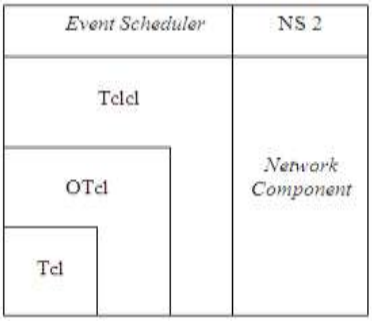


Gambar 4 Pertukaran informasi *link-state* [2]

2.6 Network Simulator 2 [8]

Network Simulator 2 adalah bahasa pemrograman yang digunakan untuk mensimulasikan jaringan berbasis TCP/IP dengan berbagai macam medianya. *Network Simulator 2* dibangun dengan menggunakan 2 bahasa pemrograman, yaitu C++ dan Tc/Otcl. C++ digunakan untuk *library* yang berisi event *scheduler*, *protocol* dan

network component yang diimplementasikan pada simulasi oleh *user*. Tcl/Otcl digunakan pada *script* simulasi *object*. Otcl nantinya juga berperan sebagai interpreter. *Network Simulator* 2 pada dasarnya bekerja pada sistem *unix/linux* dan dijalankan dengan sistem operasi *Linux* atau *Windows*. Pada sistem *Windows* harus menambahkan *Cygwin* sebagai *Linux enviroment* agar NS2 dapat dijalankan.



Gambar 5 Hubungan antar komponen pembangun NS2

Pengguna NS2 berada pada pojok kiri bawah, melakukan design dan menjalankan simulasi menggunakan bahasa tcl. Dalam simulasi untuk memanggil dan menggunakan objek simulator pada *library* otcl. *Event scheduler* ditulis menggunakan bahasa C++, diakses oleh Otcl melalui Otcl *linkage* yang diimplementasikan menggunakan Tclcl. Seranai program simulasi dapat dibuat dengan cara menuliskan pada *text editor* dan disimpan dengan extensi *.tcl. Untuk menjalankan dapat mengetikkan NS diikuti dengan nama file tcl yang ingin dijalankan. Setelah program dijalankan maka keluaran yang dihasilkan ada dua jenis, yaitu: *trace file* yang digunakan untuk analisa *numeric* dan *file namtrace* yang digunakan sebagai input tampilan grafis simulasi yang disebut dengan *network animator* (NAM). NS 2 yang dipakai pada penelitian ini adalah versi 2.35.

3. Perancangan Sistem

3.1 Parameter Modul Simulasi

Perancangan simulasi jaringan *wireless* PAN dengan *software* NS-2.35, langkah pertama yang dilakukan adalah menentukan skenario dan parameter simulasi yang akan digunakan. Ada dua bagian yang menggolongkan parameter tersebut. Bagian pertama yaitu parameter yang telah didefinisikan oleh NS2 dan bagian kedua adalah parameter yang didefinisikan sendiri oleh perancang. Data yang ada pada tabel di bawah ini merupakan parameter simulasi yang ditentukan sendiri.

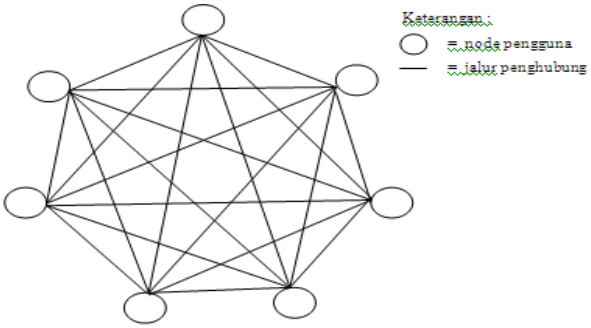
Tabel 2 Parameter simulasi jaringan WPAN

PARAMETER	NILAI
Model propagasi	*Two Ray Ground*
Jenis data	*FTP (File Transport Protocol)*
Tipe antarmuka antrian	*Drop tail* (FIFO)
Model antena	*Omni antenna*
Tipe *routing protocol*	FSR
Jumlah maksimal paket dalam antrian	50 paket
Dimensi topografi	100x50 meter
Jumlah *node*	5, 20, 40, dan 60 *node*
Waktu simulasi	200 detik

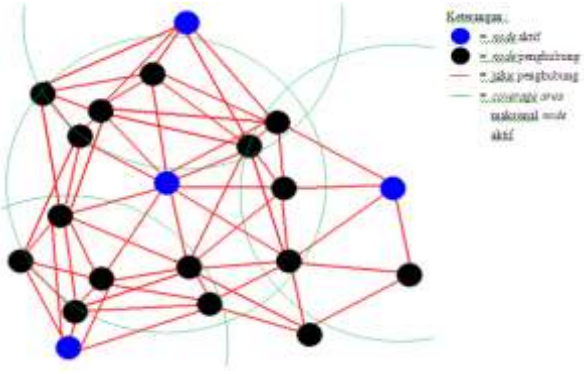
Tabel 3 Skenario simulasi jaringan WPAN

SKENARIO	JUMLAH *NODE*	JUMLAH *NODE* AKTIF	JUMLAH *LINK*
I	5	2	2
II	20	4	16
III	40	6	30
IV	60	8	56

Pada simulasi ini topologi yang dipakai adalah mesh network. Gambar 6 memperlihatkan jaringan dengan topologi mesh, sedangkan pada gambar 7 memperlihatkan skenario pembuatan simulasi jaringan WPAN dengan menggunakan 20 node.



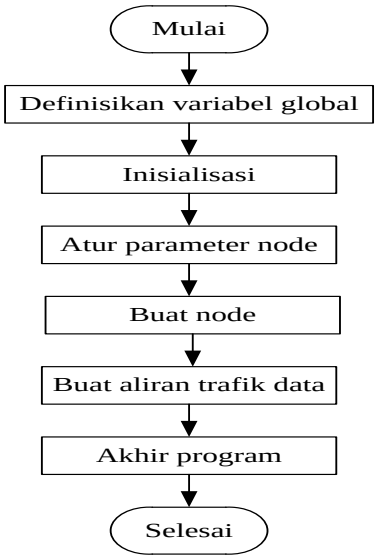
Gambar 6 Topologi jaringan mesh



Gambar 7 Skenario simulasi jaringan WPAN 20 node

3.2 Program Simulasi Jaringan WPAN

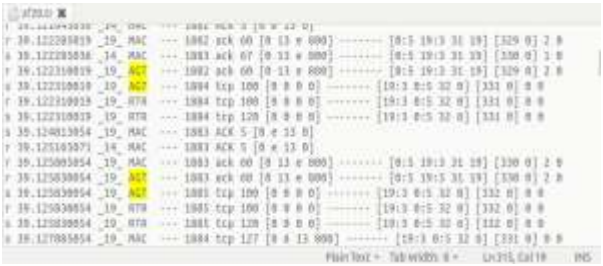
Diagram alir proses simulasi jaringan WPAN dapat dilihat pada gambar 8 berikut:



Gambar 8 Diagram alir proses pembuatan simulasi jaringan WPAN

3.3 Pengambilan Data Hasil Simulasi

Trace file merupakan catatan seluruh informasi tentang kejadian yang dialami pada simulasi yang telah dijalankan. Informasi tersebut disajikan dalam bentuk angka dan huruf dengan format khusus. Satu baris tulisan pada *trace file* mewakili satu kejadian dalam simulasi. Cuplikan dari data *trace file* dapat dilihat pada gambar pada gambar 9.



Gambar 9 Jendela cuplikan *trace file*

4. Analisis Kinerja Jaringan WPAN

4.1 Throughput

Nilai *throughput* yang terjadi pada 4 skenario bervariasi karena adanya perbedaan jarak antar *node*, jumlah *node*, antrian, jumlah *node* yang dilewati data untuk sampai ke penerima (*multi hop*), pembaruan informasi yang terdapat pada *routing table*, dan perbedaan waktu pengiriman antar *node*.

Tabel 4 Perbandingan nilai *throughput* hasil simulasi

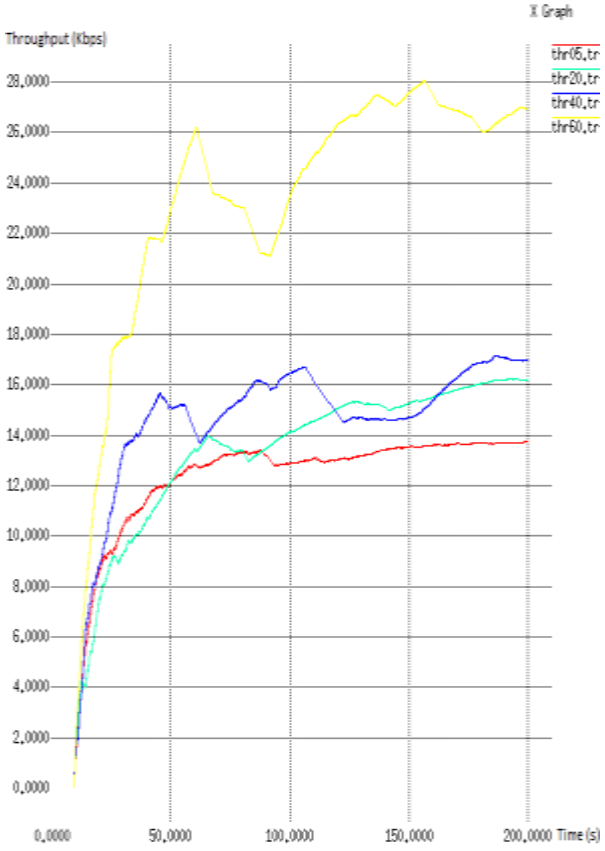
Skenario	I	II	III	IV
Jumlah *node*	5	20	40	60
Throughput (Kbps) Min	0,052043	0,051882	0,051951	0,051753
Throughput (Kbps) Max	13,749	16,2289	17,151	28,0756
Throughput (Kbps) Rata-rata	12,3821	13,6707	14,7421	23,6648
Standar deviasi (Kbps)	2,158	2,80039	2,03893	4,72043

Nilai *throughput* maksimal pada skenario pertama adalah 13,3233 Kbps dan *throughput* rata-rata 11,2014 Kbps. Hal ini dikarenakan pada skenario pertama hanya terdapat lima *node* dengan dua buah *node* yang saling berkomunikasi dalam topologi *mesh* dengan total lima buah *node* sehingga beban *node* penghubung trafik menjadi padat dikarenakan *node* penghubung yang akan dilalui trafik hanya sedikit.

Simulasi pada skenario kedua terjadi kenaikan *throughput* maksimal menjadi 17,3697 Kbps, namun *throughput* rata-rata turun menjadi 14,7406 Kbps. Hal ini dikarenakan pada skenario kedua terdapat penambahan *node* dari skenario pertama yang menyebabkan bertambahnya jalur yang digunakan data untuk mengalir sehingga beban setiap *node* pernghubung berkurang. Throughput rata-rata turun dikarenakan jumlah *node* penghubung yang berada dalam cakupan *node* aktif masih sedikit sehingga proses routing kurang optimal.

Throughput maksimal dan rata-rata yang dihasilkan pada skenario ketiga lebih tinggi dari pada kedua skenario sebelumnya, meskipun terjadi penambahan trafik menjadi 6 buah *node* aktif yang saling bertukar data dalam topologi *mesh* yang mengakibatkan bertambahnya beban *routing table*, *throughput* maksimal yang dihasilkan naik menjadi 16,8187 Kbps dan *throughput* rata-rata 14,1015 Kbps. Hal ini dikarenakan semakin bertambahnya *node* aktif yang berkomunikasi mengakibatkan jumlah data semakin banyak. Gambar grafik *throughput* pada skenario ketiga menunjukkan nilai *throughput* terus naik yang menandakan semakin banyaknya data yang dialirkan dan diterima dengan baik.

Beban kerja *routing table* bertambah pada skenario keempat ketika jumlah *node* aktif yang saling bertukar data menjadi 8 *node* dan keseluruhan jumlah *node* yang berada di dalam skenario mencapai 60 *node*. Kenaikan *throughput* yang signifikan terjadi pada skenario ini. *Throughput* maksimal yang dicapai 29,7603 Kbps dan *throughput* rata-rata 23,7681 Kbps.



Gambar 10 Grafik perbandingan *throughput*

Kenaikan throughput yang signifikan pada waktu tertentu seperti yang telihat pada gambar grafik throughput skenario keempat. Hal ini dikarenakan jumlah *node* aktif yang saling mengirimkan dan menerima informasi semakin banyak. *Routing protocol* FSR dapat melayani proses pemilihan rute aliran data dikarenakan jumlah *node* penghubung yang berada di antara *node* aktif bertambah banyak. Berdasarkan analisis dari keempat skenario, FSR mampu melayani pemilihan jalur terbaik untuk pertukaran data pada jaringan yang besar.

4.2 Delay

Seluruh hasil perhitungan keempat sekenario jaringan yang telah dibuat dapat dapat dituliskan *delay* dalam tabel 5.

Tabel 5 Perbandingan nilai *delay* hasil simulasi

Skenario		I	II	III	IV
Jumlah *node*		5	20	40	60
Delay (s)	Min	0,01162	0,01162	0,01162	0,01162
	Max	0,109106	0,21893	0,217473	12,8255
	Rata-rata	0,030387	0,041420	0,045989	0,052918
Standar deviasi (s)		0,016474	0,025402	0,030698	0,202518

Tabel 5 adalah perbandingan nilai waktu tunda masing-masing skenario. Waktu tunda pada sekenario pertama memiliki nilai waktu tunda yang terbaik, yaitu waktu tunda rata-rata sebesar 0,0303878 detik.

Pada sekenario kedua terjadi kenaikan nilai waktu tunda rata-rata menjadi 0,0414207 detik dari nilai waktu tunda sekenario pertama. Hal ini dikarenakan pada sekenario kedua terdapat penambahan *node* dan trafik lebih menjadi banyak dari sekenario pertama yang menjadikan semakin banyak rute yang dapat digunakan. Sementara pada sekenario ketiga jumlah *node* sebanyak 40 *node* dan memiliki lebih banyak trafik. Nilai *delay* maksimal naik menjadi 0,0459898 detik. Hal ini juga dikarenakan dengan bertambahnya jumlah *node* penghubung dan *node* yang melakukan pertukaran data, beban kerja *node* utama semakin berat untuk berkomunikasi.

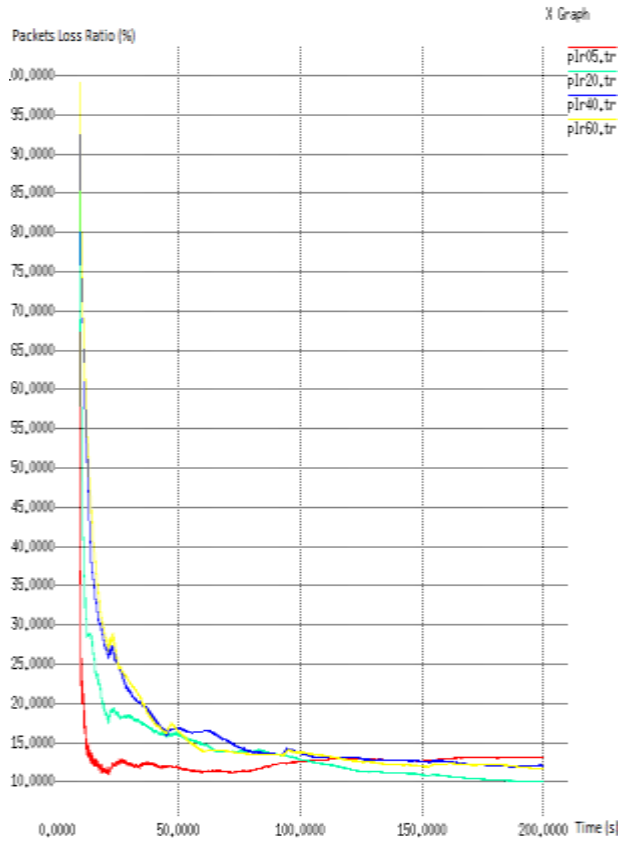
Nilai standar deviasi pada scenario keempat 0,202518 detik adalah yang terbesar dibandingkan dengan scenario yang lainnnya. Hal ini menandakan pada skenario keempat *delay* yang terjadi pada setiap kejadian memiliki nilai pergeseran yang terbesar dibanding *delay* pada skenario yang lain. Kenaikan nilai waktu tunda terjadi juga pada skenario keempat dengan jumlah *node* sebanyak 60, *delay* rata-rata 0,0529184 detik. Kenaikan nilai waktu tunda protokol FSR menjadi meningkat pada jumlah *node* yang lebih banyak, hal ini disebabkan karena beban *routing table* dalam menyediakan informasi pada skenario 60 *node* lebih banyak. Informasi yang terdapat pada *routing table* harus selalu diperbarui untuk memilih jalur terbaik yang dapat digunakan, padahal jumlah *node* telah bertambah semakin banyak. Sehingga pengiriman data memerlukan waktu yang lebih lama.

4.3 Packets Delivery Ratio (PDR)

Hasil perhitungan loss PDR pada keempat sekenario jaringan yang telah dibuat dapat dapat dituliskan didalam tabel 6.

Tabel 6 Perbandingan nilai PDR hasil simulasi

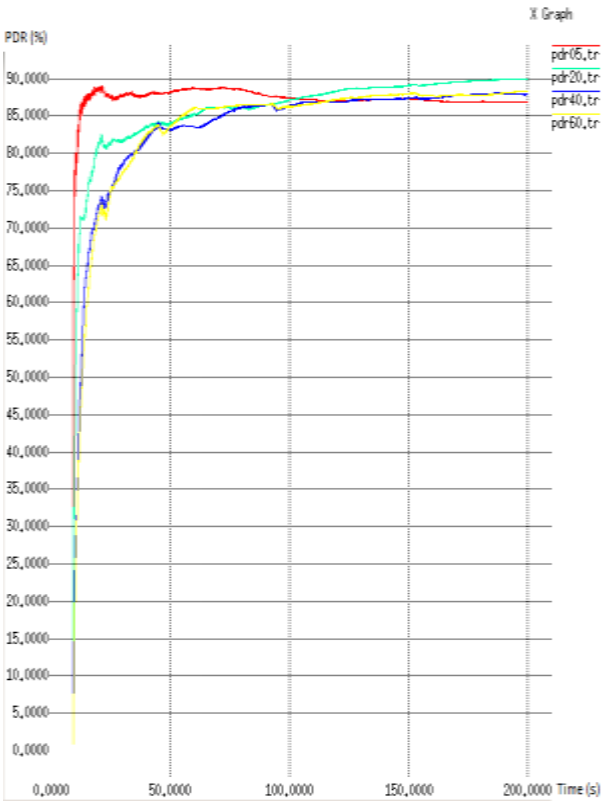
Skenario		I	II	III	IV
Jumlah *node*		5	20	40	60
packets loss ratio (%)		13,122	10,0612	12,0934	11,6702
PDR (%)	Max	89,1156	89,9666	88,115	88,3437
	Total	86,878	89,9388	87,9066	88,3298
Standar deviasi (%)		2,2175	5,57441	8,28393	8,63304



Gambar 11 Grafik perbandingan *packets loss ratio*

Berdasarkan tabel 4.16 dan melihat kembali grafik *packets loss ratio* dari gambar 4.18, terlihat bahwa *packets loss ratio* maksimum seluruh skenario terjadi pada awal simulasi di jalankan sehingga sangat bersar jumlah paket yang hilang. Hal ini disebabkan karena pada saat awal simulasi merupakan awal setiap *node* mengetahui informasi *node* di sekitarnya Informasi *node* sekitar masih dalam proses pencarian rute terbaik. Penyebab lain yang mempengaruhi besarnya *packets loss ratio* adalah penambahan *node* dan penambahan trafik. Semakin banyak *node* dan trafik yang ditambahkan, semakin lama juga waktu yang dibutuhkan agar *packets loss ratio* menurun. Hal inilah yang mengakibatkan pada skenario keempat adalah waktu *packets loss ratio* untuk berkurang dengan waktu paling lama.

PDR terbaik dengan routing FSR terdapat pada sekenario kedua sebesar 89,9388 % dengan PDR maksimal 89,9666 %. Namun berdasarkan nilai standar deviasi, PDR yang paling stabil terdapat pada scenario pertama dengan nilai standar deviasi 2,2175 %. Berdasarkan grafik PDR pada gambar 4.19, PDR skenario pertama mencapai kestabilan pada detik ke 25.



Gambar 12 Grafik prbandingan PDR

Kestabilan mulai menurun dibuktikan dengan bertambahnya nilai standar deviasi menjadi sebesar 5,57441 %. Hal ini dikarenakan jalur aliran data dan trafik lebih banyak. PDR skenario selanjutnya menurun, namun penurunnya tidak terlalu besar. Kejadian skenario kedua, waktu yang dibutuhkan PDR untuk stabil lebih lama dibandingkan skenario pertama. Terjadi pula kenaikan standar deviasi. Hal ini dikarenakan penambahan jumlah *node* penghubung di sekitar *node* aktif sehingga routing dan juga terdapat lebih banyak paket yang berhasil diterima. Dengan mengamati grafik PDR skenario kedua dibutuhkan waktu yang lebih lama daripada scenario kedua agar nilai PDR stabil. Kenaikan nilai PDR tidak terjadi pada skenario ketiga, tercatat terdapat penurunan nilai PDR rata-rata sebesar 87,9066. Hal ini dikarenakan pada skenario ketiga, banyak *node* penghubung yang tidak aktif. Kondisi ini berpengaruh terhadap proses pencarian rute, *routing table* harus diperbarui untuk mencari jalur lainnya.

Hasil yang diperlihatkan oleh grafik PDR skenario keempat, nilai PDR kembali naik menjadi 88,3298 %, namun kenaikan tidak signifikan. Hal ini juga dikarenakan terdapat beberapa *node* penghubung yang tidak aktif, meskipun demikian masalah dapat diatasi karena jumlah *node* penghubung di sekitar node aktif bertambah banyak. Jumlah *node* penghubung yang semakin banyak berarti rute yang akan dilewati juga semakin banyak. Hal ini berpengaruh baik terhadap

protokol FSR yang semakin optimal dalam mencari *node* pengganti untuk mengalirkan paket ke *node* tujuan.

4.4 Analisis Keseluruhan Skenario

Data yang terdapat pada seluruh hasil simulasi disajikan pada tabel 7 guna membandingkan secara keseluruhan kinerja metode routing FSR dalam menangani penambahan jumlah *node* berdasarkan seluruh parameter kinerja jaringan.

Tabel 7 Hasil simulasi seluruh scenario

Parameter / Skenario		Skenario I	Skenario II	Skenario III	Skenario IV
Jumlah Node		5	20	40	60
Through	Min	0,05204	0,051882	0,05195	0,05175
put	Maks	13,749	16,2289	17,151	28,0756
(Kbps)	Rata-rata	12,3821	13,6707	14,7421	23,6648
	Standar Deviasi	2,158	2,80039	2,03893	4,72043
Delay	Min	0,01162	0,01162	0,01162	0,01162
(detik)	Maks	0,10910	0,21893	0,21747	12,8255
	Rata-rata	0,030387	0,041420	0,04598	0,05291
	Standar Deviasi	0,01647	0,02540	0,03069	0,202518
Packets	Maksimal	13,122	10,0612	12,0934	11,6702
Delivery	Total	89,1156	89,9666	88,115	88,3437
Ratio(%)	*loss ratio*	86,878	89,9388	87,9066	88,3298
	Standar Deviasi	2,2175	5,57441	8,28393	8,63304

Telah terjadi penurunan nilai PDR dan kenaikan nilai standar deviasi ketika jumlah *node* ditambahkan namun tidak terlihat perubahan nilai PDR yang mencolok, sedangkan perubahan nilai standar deviasi sangat mencolok. Nilai throughput juga naik pada setiap penambahan *node*. Setiap kali node dan trafik ditambahkan, delay dan *packets loss ratio* cenderung semakin besar. Walaupun demikian, kenaikan nilai PDR masih lebih besar dibandingkan dengan kenaikan nilai *packets loss ratio*. Hal ini menunjukkan bahwa protokol FSR dapat menjaga ketahanan jaringan ketika *node* dan trafik bertambah. FSR menerapkan jalur untuk setiap paket data sesuai dengan tabel *routing*. Tabel *routing* selalu menggunakan informasi topologi yang terbaru. Pertukaran informasi *node* untuk update *link-state* dengan *node* terdekat dikendalikan oleh parameter *scope*. Untuk *node* yang berada di luar lingkup pembaruan informasi dengan *node* tetangga yang berada di luar *scope* dikendalikan oleh parameter *Time Period of Update* (TPU). Penerapan parameter ini menyebabkan penerimaan data lebih terjamin, sehingga nilai PDR dapat terjaga dengan lebih basarnya nilai PDR daripada *packets loss ratio*, akan tetapi berpengaruh juga terhadap waktu tunda pengiriman paket yang lebih besar ketika jumlah *node* ditambahkan.

5. Kesimpulan & Saran

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan penelitian kinerja *protocol* FSR pada jaringan WPAN teknologi *ZigBee* yang telah dilakukan,dapat disimpulkan beberapa hal :

1) *Throughput* tertinggi 23,6648 Kbps terdapat pada skenario keempat.
2) *Delay* terendah 0,0303878 detik terdapat pada skenario pertama.
3) *Packets Delivery Ratio* tertinggi 89,9388 % terdapat pada skenario kedua.
4) Berdasarkan jumlah node tertinggi yaitu 60 node, nilai rata-rata parameter kinerja jaringan yang didapat adalah *throughput* 23,6648 Kbps, *data delay* 0,0529184 detik, dan PDR 88,3298 %.
5) *Packets loss ratio* pada awal skenario berjalan masih tinggi dikarenakan informasi jalur yang terdapat pada tabel *routing* masih sedikit.
6) Pada umumnya jaringan mulai stabil dan kinerja *routing* FSR semakin optimal pada detik ke 120.

5.2 Saran

Penelitian selanjutnya diharapkan dapat memperbaiki kekurangan dan kelemahan pada penelitian ini. Beberapa saran yang diberikan penulis adalah:

1) Menambahkan parameter kinerja jaringan *wireless* seperti menggunakan, *jitter*, dan *link budget*.
2) Menggunakan metode *routing* yang lain seperti *Grid Fisheye State Routing* yang merupakan perkembangan dari *Fisheye State Routing*.
3) Memperbanyak jumlah *node* untuk membuat skenario dengan jumlah *hop* yang lebih banyak yang digunakan untuk mengalirkan data.
4) Menggunakan topologi jaringan yang lain seprti tree.
5) Menambahkan parameter kondisi lingkungan ataupun jaringan *wireless* seperti ketinggian sensor yang bervariasi dan penggunaan *path loss* agar lebih sesuai dengan keadaan yang sebenarnya.

Referensi :

[1]. Novianti. Dwi., Simulasi Kinerja WPAN 802.15.4 (*Zigbee*) dengan Algoritma Routing AODV dan DSR, Universitas Diponegoro, Semarang, 2011

[2]. Gerla, Mario., Hong, Xiaoyan., Pei, Guangyu., Fisheye State Routing Protocol (FSR) for AdHoc Networks, Rockwell Scientific Company, 2002

[3]. Comparison Between Bluetooth, ZigBee, and UWB, http://www.cse.wustl.edu/~jain/cse574-06/ftp/vehicular_wireless/index.html [diakeses Januari 2013]

[4]. Arsitektur jaringan WPAN, http://blog.um.ac.id/deeaning/2011/12/21/wireless-personal-area-network/ [diakses Juli 2012].

[5]. [ApllicationZigbee, http://focus.ti.com/en/graphics/aap/zigbee.gif [diakses September 2012]
[6]. Eitiveni, Imairi., Perbandingan kinerja Zigbee dan Bluetooth untuk Wireless Personal Area Network. Skipsi S-1, Universitas Indonesia, Jakarta, 2009.
[7]. Ergen, S. Coleri, *Zigbee/IEEE 802.15.4 Summary*, September 2004.
[8]. Wirawan, A.B., E.Indarto, *Mudah Membangun Simulasi dengan Network Simulator-2 (NS-2)*, ANDI, Yogyakarta, 2004.