

ANALISIS DAN SIMULASI WIRELESS SENSOR NETWORK (WSN) UNTUK KOMUNIKASI DATA MENGGUNAKAN PROTOKOL ZIGBEE

ANALYSIS AND SIMULATION OF WIRELESS SENSOR NETWORK (WSN) FOR DATA COMMUNICATION USING ZIGBEE PROTOCOL

Dwima Anggraini¹

Indrarini Dyah Irawati, ST.,MT.²

Ratna Mayasari, ST.,MT.³

^{1,2,3}Prodi S1 Teknik Telekomunikasi, Fakultas Teknik Elektro, Universitas Telkom

dwima.anggraini@gmail.com

indrarini@telkomuniversity.ac.id

fatnamayasari@telkomuniversity.com

ABSTRAK

Penemuan teknologi *wireless* atau nirkabel memberikan pengaruh yang besar dalam banyak hal, khususnya dalam dunia telekomunikasi. Sejak pertama kali dimunculkan, teknologi *wireless* terus berkembang pesat hingga memunculkan teknologi – teknologi baru. Salah satunya adalah munculnya teknologi *Wireless Sensor Network*. Dalam aplikasinya, teknologi WSN ini memerlukan perangkat yang sesuai dengan standar IEEE 802.15.4. Salah satunya adalah perangkat protokol *zigbee* yang dikembangkan oleh *Zigbee Alliance*.

Pada penelitian ini, akan dilakukan analisis dan simulasi komunikasi data antar *node* pada WSN menggunakan protokol *zigbee*. *Node zigbee* pada simulasi ini merepresentasikan *node* sensor dalam jaringan WSN. Simulasi dilakukan menggunakan *software* OPNET Modeler 14.5. Kemudian dilakukan pengamatan terhadap parameter QoS meliputi *Data Dropped*, *Packet Loss*, *Delay* dan *Throughput*.

Dari simulasi yang telah dilakukan, didapatkan hasil yaitu nilai *data dropped* terkecil adalah topologi *mesh* dengan 3,67 bit/sec. Nilai *packet loss* terkecil adalah topologi *cluster tree* sebesar 0,089%. Nilai *delay* terkecil adalah topologi *cluster tree* dengan 12,68 ms. Dan nilai *throughput* terbesar ada pada topologi *cluster tree* dengan 30,64 kbit/sec. Diantara ketiga topologi, topologi *cluster tree* memiliki nilai performansi yang lebih baik. Sementara itu topologi *star* memiliki nilai performansi terkecil diantara ketiga topologi yang digunakan. Jumlah *node* yang digunakan dalam simulasi ini juga mempengaruhi hasil performansi QoS.

Kata Kunci: WSN, OPNET Modeler 14.5, QOS, *zigbee*

ABSTRACT

The invention of wireless technologies provide great influence in many ways, especially in the world of telecommunications. Since it was first appeared, wireless technology continues to evolve rapidly to bring new technologies. One of new technologies is the emerge of Wireless Sensor Network technologies. In its application, WSN technology requires devices that appropriate with the IEEE 802.15.4 standard. One is zigbee protocol that developed by Zigbee Alliance.

In this thesis, will be analyzed and simulated data communication of nodes in WSN using zigbee protocol. The zigbee nodes will represents a sensor nodes in WSN networks. The simulation was performed using software OPNET Modeler 14.5 software. Then, the observation of the QoS parameters include Data Dropped, Packet Loss, Delay and Throughput.

From the simulation results, the smallest value of data dropped is mesh topology with 3,67 bits/sec. The smallest value of packet loss is cluster tree topology with 0,089%. The smallest value of delay is cluster tree topology with 12,68 ms. And the greatest value of throughput is cluster tree topology with 30,64 kbits/sec. Among the three of topology, we conclude that cluster tree topology has a better performance value. Meanwhile, the star topology has the smallest performance value among the three. The number of nodes used in this simulation also affect the performance results.

Keywords: WSN, OPNET Modeler 14.5, QOS, *zigbee*

1 Pendahuluan

1.1 Latar Belakang

Penemuan teknologi *wireless* atau nirkabel memberikan pengaruh yang besar dalam banyak hal, khususnya dalam dunia telekomunikasi. Sejak pertama kali dimunculkan, teknologi *wireless* terus berkembang pesat hingga memunculkan teknologi – teknologi baru. Salah satunya adalah munculnya teknologi *Wireless Sensor Network* atau Jaringan Sensor Nirkabel. Infrastruktur jaringan tanpa kabel

ini terdiri dari sejumlah sensor *node*, yang didistribusikan dalam suatu lingkungan objek tertentu (*sensor field*) sehingga menghasilkan suatu jaringan komunikasi sensor yang terhubung secara *wireless* (nirkabel) untuk memonitor kondisi fisis atau kondisi lingkungan tertentu.

Dalam implementasinya, WSN membutuhkan suplai energi untuk tetap secara kontinyu melakukan *sensing*. Catu daya pada *node* dalam WSN hanya disuplai oleh baterai untuk operasinya, sehingga

memiliki cadangan energi yang terbatas. Karena konsumsi energi adalah salah satu faktor penting untuk menentukan *lifetime* suatu jaringan, maka energi yang digunakan harus seefisien mungkin agar dapat menghasilkan performansi yang maksimum. Untuk itulah, dalam implementasinya dibutuhkan suatu *prototype* sistem WSN yang memiliki jangkauan luas namun berdaya rendah menggunakan *Zigbee*[12] agar dapat menghasilkan performansi yang maksimum.

Pada penelitian ini akan dilakukan pengamatan melalui simulasi jaringan *wireless sensor network* dalam hal komunikasi antara *node zigbee* yang digunakan untuk merepresentasikan *node* sensor yang sesungguhnya. Selain itu, akan diamati pula performansi QoS meliputi nilai *data dropped*, *throughput*, *delay* dan *packet loss* pada penggunaan protokol *zigbee* sebagai *node* sensor.

1.2 Rumusan Masalah

- Bagaimana memodelkan sebuah jaringan WSN dengan bantuan *software* OPNET untuk merepresentasikan komunikasi data antar *node* ?
- Bagaimana mengukur dan menganalisa nilai performansi dari pemodelan sistem WSN dalam simulasi?
- Bagaimana pengaruh topologi dan parameter terhadap performansi komunikasi protokol *zigbee* dalam simulasi WSN?
- Bagaimana pengaruh jumlah *node* yang digunakan terhadap performansi komunikasi protokol *zigbee* dalam simulasi WSN?

1.3 Tujuan

- Memodelkan sebuah sistem *Wireless Sensor Network* yang dapat merepresentasikan komunikasi data antar *node* dengan menggunakan protokol *zigbee* sebagai *node* sensor
- Mensimulasikan komunikasi data antar *node zigbee* dalam model sistem *Wireless Sensor Network* menggunakan bantuan *software*.
- Melakukan pengamatan dan analisis terhadap performansi dari pemodelan sistem *Wireless Sensor Network* menggunakan protokol *zigbee* termasuk analisis terhadap *Quality of Service* (QoS) pada WSN yang meliputi nilai *Data Dropped*, *Throughput*, *Delay*, dan *Packet Loss*.

1.4 Metode Penelitian

1. Studi Literatur

Studi literatur dimaksudkan untuk mempelajari konsep dan teori – teori yang dapat mendukung proses simulasi sistem WSN

2. Perancangan dan Simulasi

Pada tahap ini akan dilakukan perancangan dan simulasi jaringan WSN

3. Percobaan dan Analisis

Pada tahap ini *node zigbee* yang digunakan sudah bisa berkomunikasi satu sama lain dan

menghasilkan data simulasi. Selanjutnya data akan diolah dan dilakukan analisis.

4. Konsultasi

Konsultasi kepada pembimbing dan berbagai pihak yang kompeten untuk mengetahui metode analisa yang tepat.

2 Dasar Teori

2.1 Definisi *Wireless Sensor Network* (WSN) [8]

Wireless Sensor Network (WSN) adalah suatu infrastruktur jaringan nirkabel yang terdiri dari sejumlah *node* sensor yang tersebar di suatu area. Teknologi WSN dapat digunakan untuk memonitor beberapa hal seperti *temperature*, kelembaban, kondisi cahaya, level derau, pergerakan suatu objek dan lain sebagainya. Sehingga, dapat disimpulkan bahwa WSN adalah sebuah penghubung antara lingkungan fisik (*physical world*) dan dunia digital (*digital world*).

2.2 IEEE 802.15.4 dan *Zigbee* [10]

Protokol IEEE 802.15.4 ini merupakan salah satu dari macam – macam protokol pada WPAN (*Wireless Personal Area Network*). Protokol IEEE 802.15.4 ini merupakan standar untuk gelombang *radio* (RF). Protokol ini menggunakan 3 pita frekuensi untuk keperluan operasionalnya, seperti : 868-868.8 MHz untuk daerah Eropa, 902-928 MHz untuk daerah Amerika Utara, 2400-2483.5 MHz untuk daerah lainnya diseluruh dunia.

Zigbee memiliki *protocol stack* yang sangat sederhana, *Zigbee* dapat mengirimkan data sepanjang 127 huruf (127 *byte*) saja. Data sekecil ini sangat bisa dikirim oleh yang memiliki kecepatan pengiriman 250 kbps, dan dapat mengurangi beban *host* CPU. *Zigbee* hanya membutuhkan komputer mikro 4 atau 8 bit saja dan *zigbee* hanya membutuhkan waktu inisialisasi sebesar 30 ms (sedangkan dari kondisi tidur/*sleep* sampai bangunnya hanya perlu 15 ms) saja. Ini sangat cocok untuk peralatan - peralatan sensor yang membutuhkan operasi kecepatan waktu *ON/OFF* nya tinggi.

2.3.1 Prinsip Kerja *Zigbee* [10]

2.3.2 *Zigbee* Protocol Stack Layer [10]

Pada *zigbee* terdapat empat lapisan komunikasi, diantaranya adalah lapisan fisik, lapisan *Media Access Control*, lapisan jaringan, dan lapisan aplikasi. Penjelasan secara rincinya adalah sebagai berikut:

a. Lapisan Fisik

IEEE 802.15.4 mendefinisikan dua representasi dari lapisan fisik yang memiliki 3 lebar frekuensi tanpa lisensi yaitu 2,4 GHz dengan 16 *channel*, 902-928MHz dengan 10 *channel*, dan 868-870 Mhz dengan 1 *channel* dengan kecepatan data masing - masing 250 kbps, 40 kbps, dan 20 kbps.

b. Lapisan *Media Access Control*

Lapisan ini didefinisikan oleh IEEE 802.15.4 antara lain, mempunyai tugas untuk pengaksesan saluran. Tugas lain dari lapisan ini adalah untuk

mendukung jaringan dimana memiliki alamat 64 bit dan setiap *node* memiliki alamat yang unik, jumlah *node* bisa mencapai 254 untuk sebuah koordinator sedangkan jumlah *node* bisa mencapai 65532 jika menggunakan topologi jaringan *peer-to-peer* (*mesh*).

c. Lapisan Jaringan

Secara umum layanan manajemen jaringan dalam *zigbee* meliputi : konfigurasi perangkat, penetapan jaringan yang baru, keanggotaan jaringan, pengalamatan jaringan, pememilihan jenis keamanan jaringan, sinkronisasi, jaminan slot waktu, portabilitas, koordinator backup, resolusi konflik pengidentifikasi pada *Personal Area Network* (*PAN*).

d. Lapisan Aplikasi

Lapisan aplikasi pada arsitektur *Zigbee* terdiri dari *sublayer* aplikasi (*APS*), *Zigbee End Device* dan definisi pembuat objek aplikasi. Tanggung jawab dari *sublayer APS* meliputi kemampuan untuk mencocokkan dua perangkat secara bersama-sama yang didasarkan pada layanan dan kebutuhan pengguna, dan menyampaikan pesan antara perangkat yang terkait. Tanggung jawab yang lain dari *sublayer APS* adalah melakukan pemulihan (*discovery*).

2.3.3 Karakteristik dan Topologi Jaringan Zigbee [10]

a. Topologi Star

Pada topologi *star* komunikasi dilakukan antara perangkat dengan sebuah pusat pengontrol tunggal, disebut sebagai koordinator PAN (*Personal Area Network*).

b. Topologi Mesh (Peer to Peer)

Dalam topologi *peer to peer* juga hanya ada satu koordinator PAN. Berbeda dengan topologi *star*, setiap perangkat dapat berkomunikasi satu sama lain sepanjang ada dalam jarak jangkauannya.

c. Topologi Cluster Tree

Cluster tree merupakan sebuah model khusus dari jaringan *peer to peer* dimana sebagian besar perangkatnya adalah FFD dan sebuah RFD mungkin terhubung ke jaringan *cluster tree* sebagai *node* tersendiri di akhir dari percabangan. Salah satu dari FFD dapat berlaku sebagai koordinator dan memberikan layanan sinkronisasi ke perangkat lain dan koordinator lain. Hanya satu dari koordinator ini adalah koordinator PAN.

2.3 OPNET [1]

Optimized Network Engineering Tool (OPNET) adalah *tools* atau alat simulasi jaringan yang menyediakan Lingkungan Virtual Network dengan model yang meliputi seluruh jaringan[1]. OPNET juga dapat digunakan untuk mensimulasikan *Wireless Sensor Network* (WSN). *Software* ini memiliki kelebihan dalam hal mendesain suatu jaringan berdasarkan perangkat yang ada di pasaran, protokol, layanan dan teknologi yang sedang

berkembang di dunia telekomunikasi. Hasil simulasi dapat dibuat dalam beberapa skenario sehingga dapat dijadikan dasar di dalam perencanaan suatu jaringan berbasis paket.

3 Perancangan Model Simulasi Jaringan

3.1 Penentuan Topologi

3.1.1 Topologi Star

Peletakan *node zigbee* untuk simulasi topologi *star* disusun dengan jarak antara *node 0* dengan *node 1, 2, 3, dan 4* berada pada range 55 meter sampai dengan 65 meter. Jarak antara *node 0* dengan *node 5,6,7 dan 8* berada pada range 100 meter sampai dengan 120 meter. Sedangkan jarak antara *node 0* dengan semua *mobile node* berada pada range 100 meter hingga 120 meter

3.1.2 Topologi Mesh

Peletakan *node zigbee* untuk topologi *mesh* disusun dengan jarak antara *node 0* dengan *node* lainnya pada topologi *mesh* ini, sama dengan jarak antara *node 0* dengan *node* lainnya pada topologi *star*. Bedanya terdapat penambahan 2 *node router* yaitu *node 9 dan node 10*. *Node 9* akan diatur sebagai penerus informasi untuk *node 6, node 2 dan mobile node 0* sedangkan *node 10* akan diatur sebagai penerus informasi untuk *node 5, node 1 dan mobile node 1*. Jarak antara *node 0* dengan *node 9 dan 10* berada pada range 55 -65 meter.

3.13 Topologi Cluster Tree

Pada topologi ini, ada penambahan dua *node zigbee router* yaitu *node 11 dan node 12*. Jarak antara *node 0* ke *node* lainnya pada topologi ini diatur sama dengan yang digunakan pada topologi *mesh* dan *star*. Sedangkan untuk jarak *node 0* ke *node router 9,10,11, dan 12* berada pada range 55 meter sampai dengan 65 meter. *Node 11* akan diatur sebagai penerus informasi untuk *node 3, node 7 dan mobile node 2* sedangkan *node 12* akan diatur sebagai penerus informasi untuk *node 4, node 8 dan mobile node 3*.

3.14 Topologi Skenario Komunikasi

Peletakkan *node zigbee* pada skenario komunikasi disusun dengan jarak antara *node 0* dengan *node 1* diatur kurang lebih sekitar 150 meter. Jarak antara *node 0* dengan *node 2* kurang lebih sekitar 300 meter. Jarak antara *node 0* dengan *node 3* kurang lebih sekitar 450 meter. Jarak antara *node 0* dengan *node 4* kurang lebih sekitar 600 meter. Untuk pengaturan jarak pada masing – masing *mobile node* diatur jarakanya pada range 40 – 50 meter.

4 Analisis Hasil Simulasi

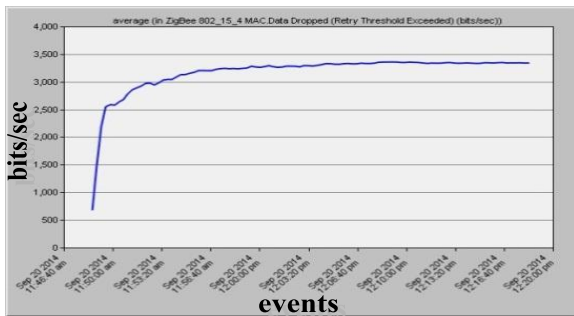
4.1 Hasil Simulasi Skenario Topologi

4.1.1 Analisis Hasil Simulasi Topologi Star

4.1.1.1 Data Dropped

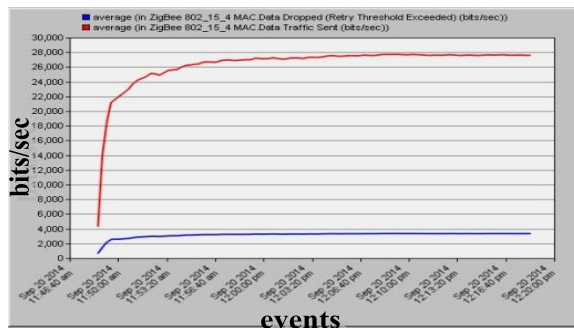
Dari hasil pengambilan data, didapatkan rata – rata *data dropped* untuk topologi *star* sebesar 3339,04 bits/sec atau sekitar 3,34 kbps. Hal ini disebabkan karena pada topologi *star* semua *node end device* terhubung langsung ke *node coordinator* sehingga probabilitas kegagalan retransmisi paket

lebih besar. Kegagalan retransmisi ini terjadi karena MAC tidak bisa menerima ACK untuk retransmisi dari paket – paket tersebut dan paket – paket yang melakukan transmisi ulang tersebut telah melewati batas pengulangan paket yaitu sebanyak 5 kali.



Gambar 4.1 Rata – rata data dropped topologi star

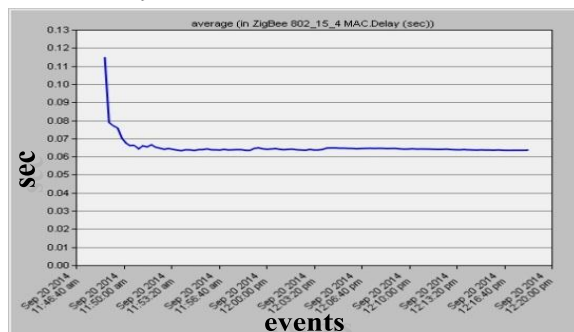
4.1.1.2 Packet Loss



Gambar 4.2 Rata – rata packet loss topologi star

Dari hasil pengambilan data, didapatkan nilai packet loss dari hasil perbandingan sebesar 11%. Nilai packet loss ini terbilang cukup besar. Hal ini bisa disebabkan karena tingginya probabilitas kegagalan trafik retransmisi seperti yang dijelaskan pada hasil statistik data dropped. Sehingga perbandingannya dengan trafik yang dikirimkan mencapai nilai 11%.

4.1.1.3 Delay



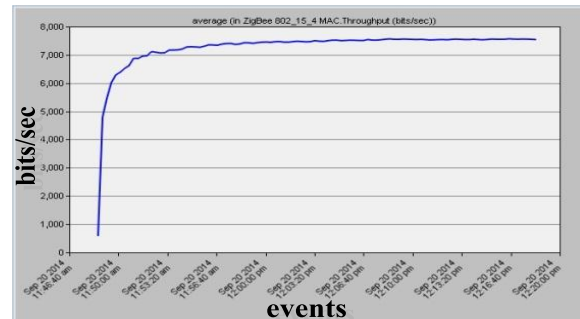
Gambar 4.3 Rata – rata delay topologi star

Dari hasil pengambilan data, didapatkan hasil rata – rata delay pada topologi star sebesar 0,06354 sec atau sebesar 63,54 ms. Delay ini masih dikategorikan bagus karena masih dibawah 150 ms. Akan tetapi jika dibandingkan dengan topologi lain,

nilai delay pada topologi star ini termasuk lebih besar. Hal ini disebabkan karena dalam waktu yang relatif bersamaan masing – masing node menerima data dari physical layer yang kemudian dibuat menjadi paket untuk diteruskan ke layer yang lebih tinggi sehingga menyebabkan nilai delay pada topologi star lebih besar.

4.1.1.4 Throughput

Berdasarkan hasil pengambilan data, rata – rata throughput pada simulasi menggunakan topologi star adalah sebesar 7541,82 bit/sec atau sekitar 7,542 kbps. Nilai throughput pada topologi star ini lebih kecil dibandingkan pada topologi lain. Hal ini disebabkan karena nilai data dropped dan packet loss pada topologi star yang cukup tinggi sehingga berpengaruh terhadap besar kecilnya paket yang berhasil diteruskan oleh MAC Layer ke layer yang lebih tinggi dari seluruh node di dalam jaringan.

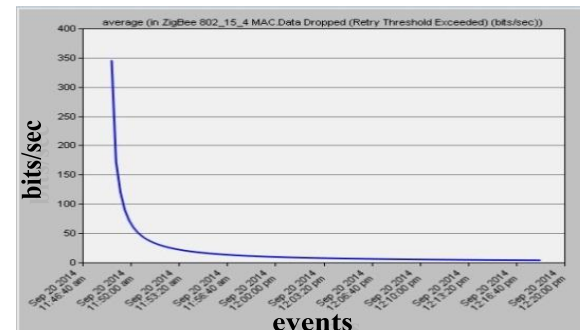


Gambar 4.4 Rata – rata throughput topologi star

4.1.2 Analisis Hasil Simulasi Topologi Mesh

4.1.2.1 Data Dropped

Dari hasil pengambilan data, didapatkan hasil rata- rata data dropped sebesar 3,67 bits/sec. Nilai data dropped pada topologi mesh ini dapat dikategorikan sangat baik. Hal ini bisa terjadi karena pada topologi mesh tidak semua node end device langsung terhubung ke node coordinator. Beberapa node end device telah diatur tujuannya untuk melewati node router terlebih dahulu sehingga kegagalan retransmisi paket yang menuju node coordinator probabilitasnya lebih kecil.

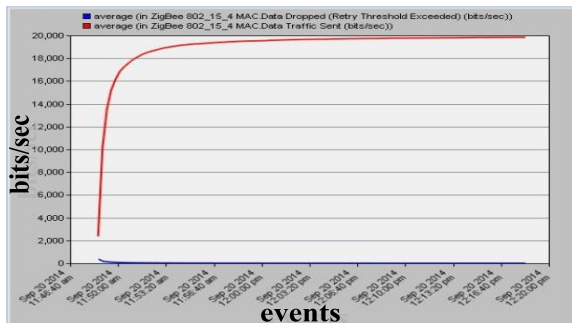


Gambar 4.5 Rata- rata data dropped topologi mesh

4.1.2.2 Packet Loss

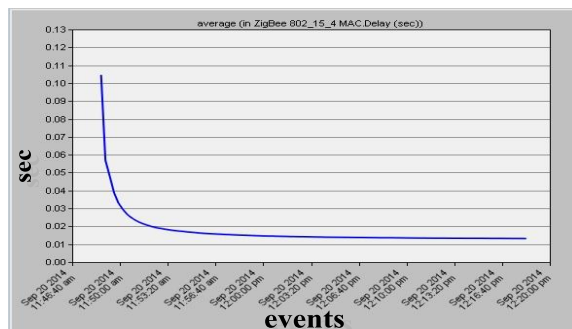
Dari hasil pengambilan data, didapatkan nilai packet loss pada topologi mesh adalah sebesar

0,097%. *Packet loss* pada topologi *mesh* dapat dikategorikan sangat bagus karena nilainya hampir mendekati 0%. Hal ini bisa disebabkan karena kecilnya probabilitas kegagalan retransmisi sehingga lebih banyak paket yang berhasil dikirim dibandingkan paket yang *dropped*.



Gambar 4.6 Rata – rata *packet loss* topologi *mesh*

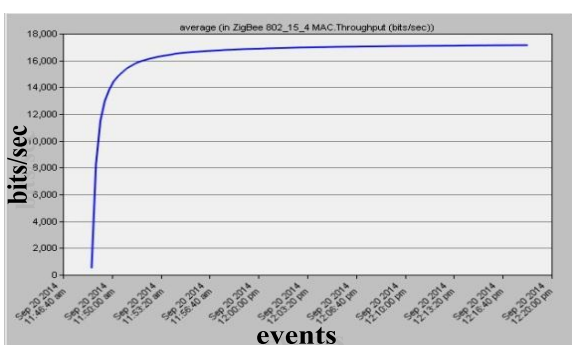
4.1.2.3 Delay



Gambar 4.7 Rata – rata *delay* topologi *mesh*

Dari hasil pengambilan data, didapatkan hasil rata – rata untuk *delay* pada topologi *mesh* adalah sebesar 0,013128 sec atau sebesar 13,13 ms. Hasil *delay* untuk simulasi topologi *mesh* ini masih dapat dimasukkan dalam kategori bagus karena nilainya yang masih dibawah 150 ms.

4.1.2.4 Throughput



Gambar 4.8 Rata – rata *throughput* topologi *mesh*

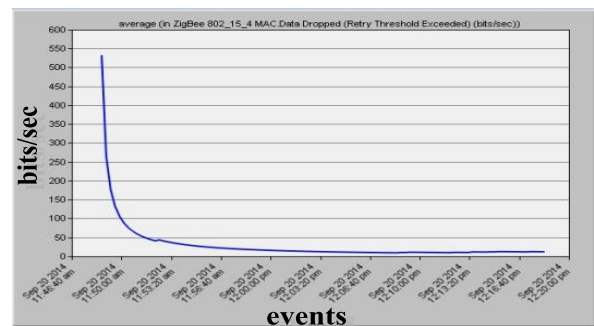
Berdasarkan hasil pengambilan data, didapatkan hasil rata – rata *throughput* pada simulasi menggunakan topologi *mesh* adalah sebesar 16431,31 bit/sec atau sekitar 16,43 kbps. *Throughput* pada topologi *mesh* ini terbilang bagus karena nilainya

jauh lebih besar dibandingkan dengan topologi *star*. Hal ini bisa disebabkan karena nilai *data dropped* dan *packet loss* pada topologi *mesh* yang rendah sehingga paket yang berhasil terkirim lebih

4.1.3 Analisis Hasil Simulasi Topologi Cluster tree

4.1.3.1 Data Dropped

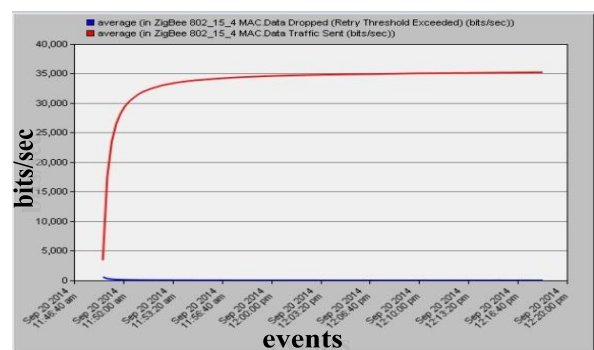
Dari hasil pengambilan data, didapatkan rata – rata *data dropped* untuk topologi *cluster tree* adalah sebesar 11,76 bits/sec. Nilai *data dropped* pada topologi *cluster tree* ini masih dapat dikategorikan baik karena nilainya kecil. Hal ini bisa disebabkan karena topologi *cluster tree* merupakan topologi yang memiliki kedalaman atau *depth*. *Depth* disini berarti *node end device* berada di bawah *node router*, sedangkan *node router* sendiri berada di bawah *node coordinator*. Antara *node end device* dengan *node coordinator* tidak berhubungan secara langsung sehingga probabilitas kegagalan retransmisi menjadi kecil karena pengaruh dari kedalaman ini.



Gambar 4.9 Rata – rata *data dropped* topologi *cluster tree*

4.1.3.2 Packet Loss

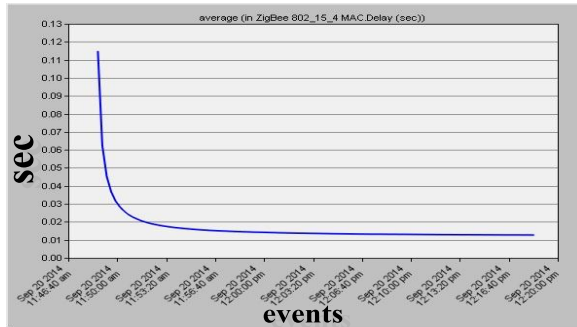
Dari hasil pengambilan data, didapatkan nilai *packet loss* dari hasil perbandingan sebesar 0,089%. Hasil *packet loss* ini dapat dikategorikan sangat bagus karena hasilnya hampir mendekati 0%, artinya paket yang hilang sangat sedikit. Hal ini bisa disebabkan karena pengaruh model topologinya yang memiliki *depth* sehingga paket yang hilang jumlahnya lebih sedikit dibandingkan paket yang berhasil dikirim



Gambar 4.10 Rata – rata *packet loss* topologi *cluster tree*

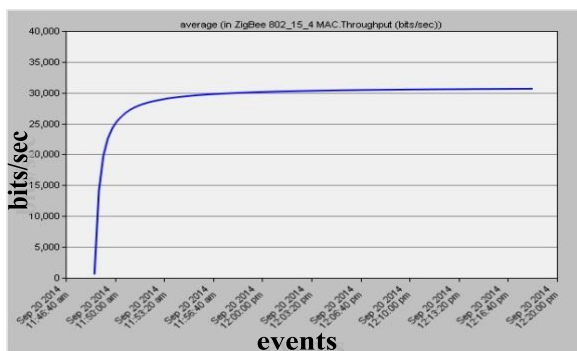
4.1.3.3 Delay

Dari hasil pengambilan data, didapatkan hasil nilai *delay* sebesar 0,012688 sec atau sekitar 12,68 ms. Nilai *delay* pada topologi *cluster tree* ini masuk dalam kategori baik karena nilainya masih dibawah 150 ms. Hal ini bisa disebabkan karena pengaruh model topologi *cluster tree* yang berbeda dengan topologi lainnya sehingga nilai *delay* yang didapatkan dari hasil simulasi topologi *cluster tree* ini lebih kecil dibandingkan dengan topologi lainnya.



Gambar 4.11 Rata – rata *delay* topologi *cluster tree*

4.1.3.4 Throughput



Gambar 4.12 Rata – rata *throughput* topologi *cluster tree*

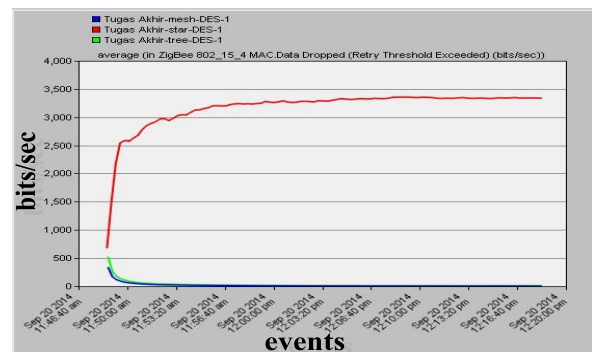
Throughput pada topologi *cluster tree* berada pada rentang 30000 – 31000 bit/sec. Berdasarkan hasil pengambilan data, rata – rata *throughput* pada simulasi menggunakan topologi *cluster tree* adalah sebesar 30634,66 bit/sec atau sekitar 30,64 kbps ditunjukkan dengan gambar 4.12. Nilai ini dapat dikategorikan baik karena *throughput* yang dihasilkan besar. Ini menunjukkan bahwa paket yang terkirim lebih banyak dibandingkan paket yang hilang atau yang di *dropped*.

4.1.4 Perbandingan Hasil Simulasi Topologi

4.1.4.1 Data Dropped

Pada gambar 4.13 dapat dilihat perbandingan nilai rata - rata *data dropped* dari ketiga topologi. *Data dropped* pada topologi *star* nilainya jauh lebih besar dibandingkan *data dropped* pada topologi *mesh* dan *cluster tree*. Hal ini bisa terjadi karena pada topologi *star* semua *node end device* terhubung ke *coordinator* secara langsung, sehingga kemungkinan kegagalan paket yang diterima oleh *coordinator* dan

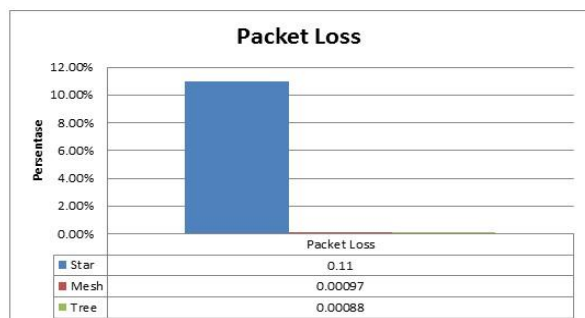
kegagalan retransmisi paket data lebih besar apabila semua *node end device* mengirimkan trafik data dalam waktu yang relatif bersamaan. Sedangkan pada topologi *mesh*, beberapa *node* terhubung terlebih dahulu ke *router* sehingga memungkinkan *node coordinator* untuk menerima trafik data yang dikirimkan *node end device* dalam waktu yang tidak bersamaan. Begitu pula dengan topologi *cluster tree* dimana ada kedalaman atau *depth* di dalamnya sehingga semua *node end device* terhubung terlebih dahulu dengan *node router* sebelum *node coordinator* sehingga memungkinkan paket yang dikirimkan dari *node end device* melalui *node router* akan diterima oleh *node coordinator* dalam waktu yang tidak bersamaan dan meminimalisir probabilitas terjadinya kegagalan retransmisi paket data.



Gambar 4.13 Perbandingan rata – rata *data dropped* skenario topologi

4.1.4.2 Packet Loss

Dari gambar 4.14 dapat kita lihat perbandingan *packet loss* antara ketiga topologi yang digunakan pada simulasi skenario topologi. *Packet loss* pada topologi *star* merupakan *packet loss* terbesar diantara ketiga topologi. Hal ini berkaitan juga dengan tingginya nilai data *dropped* pada topologi *star* sehingga perbandingannya dengan paket yang berhasil terkirim mencapai 11%. Sedangkan *packet loss* pada topologi *mesh* dan *cluster tree* nilainya tidak berbeda jauh.

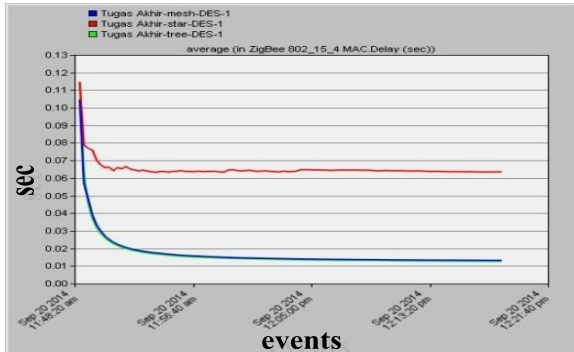


Gambar 4.14 Grafik *packet loss* skenario topologi

4.1.4.3 Delay

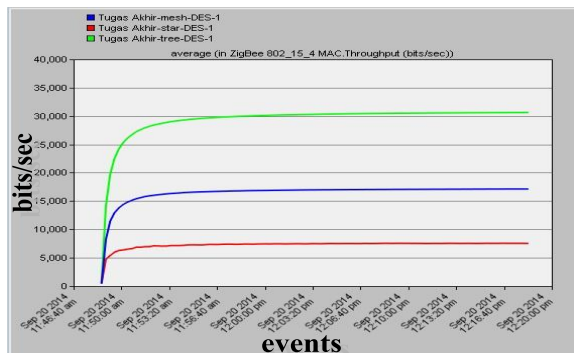
Gambar 4.15 menunjukkan grafik perbandingan rata – rata *delay* pada ketiga topologi. *Delay* terbesar terjadi pada topologi *star*. *Delay* yang terjadi pada awal simulasi lebih besar karena masing – masing

node membutuhkan waktu set up sehingga nilai *delay* saat awal simulasi lebih besar. Setelah set up selesai, maka *delay* transmisi data akan menjadi menurun. Pada topologi *star*, waktu inialisasi awal sampai dengan waktu pengiriman paket dari *node* end device ke *node* coordinator bisa terjadi dalam waktu yang relatif bersamaan sehingga menyebabkan nilai *delay* pada topologi *star* lebih besar dibandingkan nilai *delay* pada topologi *mesh* dan *cluster tree*.



Gambar 4.15 Perbandingan rata-rata *delay* skenario topologi

4.1.4.4 Throughput



Gambar 4.16 Perbandingan *throughput*

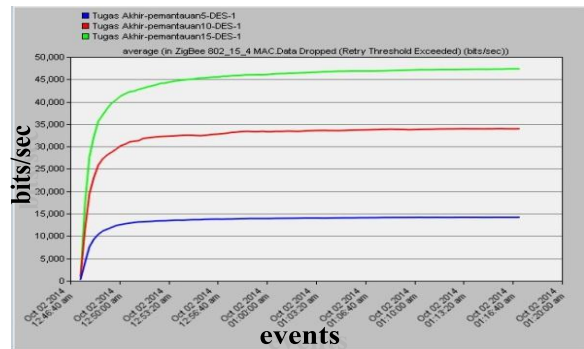
Pada gambar 4.16 dapat dilihat perbandingan *throughput* untuk ketiga topologi yang digunakan dalam simulasi. *Throughput* terbesar ada pada topologi *tree* sedangkan *throughput* terendah ada pada topologi *star*. Hal ini sejalan dengan nilai *data dropped* serta *packet loss* pada masing- masing topologi dimana *data dropped* dan *packet loss* terbesar ada pada topologi *star*, sedangkan *data dropped* dan *packet loss* terkecil ada pada topologi *cluster tree* karena teorinya apabila nilai *packet loss* kecil maka nilai *throughput* pasti besar.

4.2 Hasil Simulasi Skenario Komunikasi

4.2.1 Data Dropped

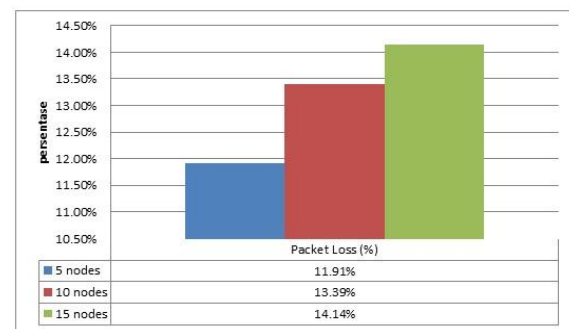
Gambar 4.17 dan gambar 4.18 menunjukkan grafik rata - rata *data dropped* hasil simulasi DES menggunakan topologi *cluster tree* dengan percobaan simulasi sebanyak 5 *mobile node*, 10 *mobile node*, dan 15 *mobile node* yang masing- masing di lakukan selama 30 menit. Dari gambar di bawah dapat kita lihat pengaruh banyaknya *mobile node* dengan *Data*

Dropped. Semakin banyak *mobile node* yang digunakan untuk merepresentasikan kendaraan bergerak, semakin tinggi pula nilai *data dropped*. Pada penggunaan 5 *mobile node*, didapatkan *data dropped* sebesar 14,2 kbps. Pada penggunaan 10 *mobile node*, didapatkan *data dropped* sebesar 33,9 kbps. Sedangkan pada penggunaan 15 *mobile node*, didapatkan *data dropped* sebesar 47,3 kbps.



Gambar 4.17 Perbandingan rata-rata *data dropped*

4.2.2 Packet Loss

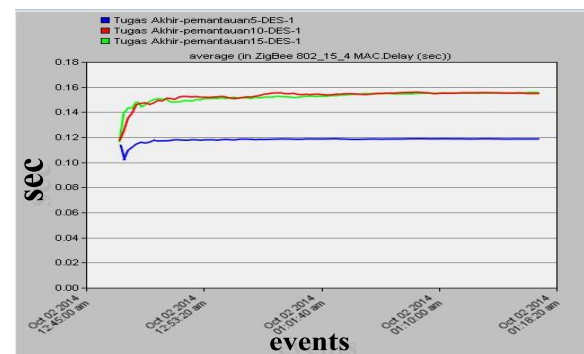


Gambar 4.18 Grafik rata – rata *packet loss*

Pada gambar 4.18 menunjukkan grafik rata – rata *packet loss* yang didapatkan dari hasil simulasi yang dilakukan selama 30 menit, menggunakan topologi *cluster tree* dengan jumlah variasi *node* sebanyak 5 *mobile node*, 10 *mobile node*, dan 15 *mobile node*.

Dari hasil pengambilan data didapatkan nilai *packet loss* untuk 5 *node* sebesar 11,91%, untuk 10 *node* sebesar 13,39%, sedangkan untuk 15 *node* sebesar 14,14%.

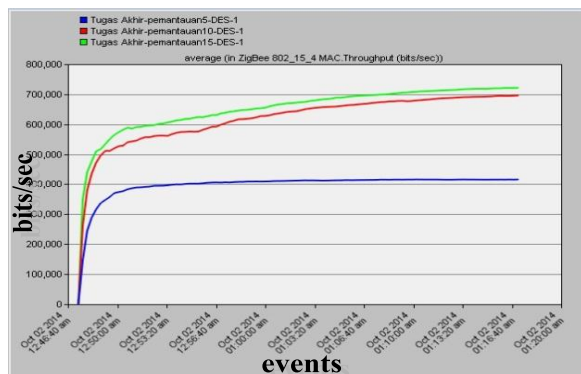
4.2.3 Delay



Gambar 4.19 Grafik *Delay*

Dari gambar 4.19, untuk penggunaan 5 *mobile nodes* didapatkan nilai *delay* sebesar 11,86 ms, untuk penggunaan 10 *mobile nodes* didapatkan nilai *delay* sebesar 14,48 ms, sedangkan untuk penggunaan 15 *mobile nodes* didapatkan nilai *delay* sebesar 15,56 ms. Dari gambar diatas dapat kita lihat bahwa jumlah *mobile node* yang digunakan juga mempengaruhi nilai *delay*. Semakin banyak *mobile node* yang digunakan semakin besar *delay*.

4.2.4 Throughput



Gambar 4.20 Grafik Throughput

Dari gambar 4.20 dapat kita lihat bahwa variasi jumlah *mobile node* juga mempengaruhi nilai *throughput*. Pada penggunaan 5 *mobile nodes* didapatkan *throughput* sebesar 415,778 kbps. Pada penggunaan 10 *nodes* didapatkan hasil *throughput* sebesar 685,96 kbps. Sedangkan penggunaan 15 *nodes* di dapatkan *throughput* sebesar 721,143 kbps. Hal ini disebabkan karena nilai *throughput* yang dihitung dalam simulasi ini adalah *throughput global* pada seluruh *node* di dalam jaringan, sehingga semakin banyak jumlah *node* maka *throughput* akan semakin besar karena *throughput* pada simulasi ini merupakan penjumlahan dari nilai *throughput* pada masing – masing *node*.

5 Kesimpulan

Dari hasil simulasi, didapatkan beberapa kesimpulan sebagai berikut :

1. Berdasarkan simulasi ketiga topologi diatas didapatkan perbandingan sebagai berikut : Untuk parameter statistik *data dropped* nilai terbesar ada pada topologi *star*, dan nilai terkecil ada pada topologi *mesh*. Untuk parameter statistik *packet loss* nilai terbesar ada pada topologi *star*, dan nilai terkecil ada pada topologi *cluster tree*. Untuk parameter statistik *delay* nilai terbesar ada pada topologi *star*, dan nilai terkecil ada pada topologi *cluster tree*. Sedangkan untuk parameter statistik *throughput* nilai terbesar ada pada topologi *cluster tree*, dan nilai terkecil ada pada topologi *star*.
2. Berdasarkan simulasi skenario komunikasi menggunakan topologi *cluster tree*, dapat disimpulkan bahwa penggunaan jumlah *mobile node* mempengaruhi nilai performansi, dimana

semakin banyak *node* yang di gunakan maka semakin besar nilai *data dropped*, *delay*, *packet loss*.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Cahyadi, Seto Ayom. 2013. *Analisis Quality Of Service (QoS) Pada Jaringan Berbasis IP Multimedia Subsystem (IMS) Menggunakan Simulator Opnet*. Universitas Diponegoro, Semarang.
- [2] Dewi, Made Cahyani Shanti. 2013. *Analisis Performansi Dan Perencanaan WSN (Wireless Sensor Network) Pada Smart Home*. Institut Teknologi Telkom, Bandung, Indonesia.
- [3] Dini, Nely Huda. 2011. *Analisis Performansi Wireless Sensor Network Dengan Mekanisme CSMA/CA Pada Standar IEEE 802.15.4/Zigbee*. Institut Teknologi Telkom, Bandung, Indonesia.
- [4] Lewis, F.L. 2004. *Wireless Sensor Network*. University of Texas.
- [5] Nieuwenhuys AV, Alves M dan Koubaa A. 2006. *On the use of the Zigbee Protocol for Wireless Sensor Network*. Hurray-TR-060603.
- [6] Nourillean, Shayma Wail. 2012. *A Study of Zigbee Network Topologies for Wireless Sensor Network with One Coordinator and Multiple Coordinators*. Al-Dour Technical Institute, Foundation of Technical Institute.
- [7] Puspita, Stephanie Arief. 2011. *Wireless Sensor Network dan Algoritma Pegasis*. [online] Tersedia di: http://digilib.itelkom.ac.id/index.php?option=com_content&view=article&id=750:wireless-sensor-network-wsn-dan-algoritma-pegasis&catid=6:internet&Itemid=14 [Diakses 15 November 2013]
- [8] Satyawan, Arief Suryadi. 2010. *"Pembuatan Sistem Jaringan Sensor Nirkabel Untuk Pengukuran Kondisi Lingkungan Pada Medan Terpencil"*. Lembaga Ilmu Pengetahuan Indonesia.
- [9] Statistic Information Software OPNET Modeler 14.5 (Educational Version)
- [10] Tama, Harka Putra. 2010. *Perancangan dan Implementasi Wireless Sensor Network (WSN) Berbasis IEEE 802.15.4/ZigBee*. Universitas Komputer Indonesia, Bandung, Indonesia.
- [11] Utomo, Fajar. 2013. *Opnet Sebagai Aplikasi Untuk Simulasi Jaringan*. [online] Tersediadi: <http://blog.unud.ac.id/fajarutomo/2013/06/18/opnet-sebagai-aplikasi-untuk-simulasi-jaringan/> [Diakses 12 Desember 2013]
- [12] ZigBee. Tersedia di: <http://id.wikipedia.org/wiki/ZigBee> [Diakses pada 10 Desember 2013]