

ANALISIS PENGARUH JUMLAH DEVICE TERHADAP PERFORMANSI STANDAR ZIGBEE PADA WSN UNTUK APLIKASI SMART BUILDING

Astiti, N.M.E.P.¹, Diafari, I.G.A.K², Indra Er, N.³

^{1,2,3} Jurusan Teknik Elektro, Fakultas Teknik Universitas Udayana

Email: Erma.P.Astiti@ieee.org¹, igakdiafari@yahoo.com², ngurah.indra.er@gmail.com³

Abstrak

Perkembangan teknologi tanpa kabel yang semakin pesat beberapa tahun belakangan ini menyebabkan berkembangnya perangkat-perangkat telekomunikasi berbasis nirkabel. Salah satu teknologi nirkabel yang sedang dikembangkan dengan berbagai macam aplikasi yaitu Wireless Sensor Network. Dalam upaya mengembangkan penerapan ZigBee untuk aplikasi Smart Building, maka diperlukan analisis karakteristik yang akan diimplementasikan melalui skenario dalam simulator OPNET Modeler. Pada penelitian ini dilakukan simulasi untuk mengetahui performansi topologi pada ZigBee network dari penggunaan jumlah device yang kecil hingga jumlah device yang besar dalam bentuk analisis pengaruh dari jumlah device tersebut untuk kedua topologi yang digunakan (tree dan mesh). Parameter simulasi yang diamati adalah traffic received (bit/sec), throughput (bit/sec), MAC delay (sec) dan end-to-end delay (sec). Simulasi dilakukan berdasarkan skenario untuk mengetahui pengaruh jumlah device pada ZigBee network menggunakan topologi tree dan mesh. Dari hasil penelitian dapat diperoleh jarak jangkauan coverage terjauh antar device ZigBee adalah 40 meter secara teoritis berdasarkan perhitungan Free Space Loss. Pada simulasi pengaruh jumlah device untuk kedua topologi (tree dan mesh), traffic received mengalami peningkatan pada saat jumlah device 40 dan 60, untuk nilai MAC delay menunjukkan semakin tinggi seiring dengan bertambahnya jumlah device, sama halnya juga untuk nilai throughput dan end-to-end delay semakin tinggi seiring dengan bertambahnya jumlah device.

Kata Kunci : WSN, Device, Topologi, Quality of Service

1. PENDAHULUAN

Perkembangan teknologi wireless yang semakin pesat beberapa tahun belakangan ini menyebabkan mendorong berkembangnya perangkat-perangkat telekomunikasi yang berbasis nirkabel. Mulai dari perangkat komunikasi yang menyangkut rumah tangga hingga perangkat komunikasi yang berhubungan dengan kemiliteran. Salah satu teknologi wireless yang sedang dikembangkan dengan berbagai macam aplikasi yaitu Wireless Sensor Network (WSN). Wireless Sensor Networks (WSN) telah menjadi teknologi yang memiliki potensi aplikasi yang luas termasuk dalam hal monitoring lingkungan, pencarian objek, perkiraan dan pengamatan ilmiah, pengendalian traffic dan lainnya. ZigBee merupakan perangkat komunikasi dalam lingkup jaringan personal dengan standarisasi IEEE 802.15.4. Pemakaian ZigBee pada umumnya telah banyak digunakan, seperti perbandingan kinerja topologi yang digunakan pada ZigBee network untuk mendapatkan result yang lebih baik dalam penggunaannya dilihat berdasarkan penelitian sebelumnya [1]. Sedangkan untuk mengetahui kinerja dari ZigBee telah maksimal atau belum, tidak

cukup melakukan uji coba dengan menggunakan jumlah device minimal, karena pada kenyataannya jumlah device untuk penggunaan WSN sangat banyak, bukan hanya puluhan device tetapi mencapai ratusan device. Jumlah device yang banyak biasa digunakan dalam aplikasi smart building. Pada smart building terdapat banyak ruangan yang dilengkapi dengan peralatan-peralatan elektronik seperti Air Conditioning (AC), TV, lampu, dan lain sebagainya. Maka dari itu dalam smart building diperlukan sistem pengendalian yang digunakan untuk memantau peralatan elektronik tersebut. Pemantauan yang akurat dari bangunan biasanya dilakukan oleh sensor yang tersebar di seluruh bangunan tersebut. Untuk aplikasi smart building menggunakan wireless sensor network dengan memanfaatkan teknologi ZigBee sebagai komunikasi datanya.

2. KAJIAN PUSTAKA

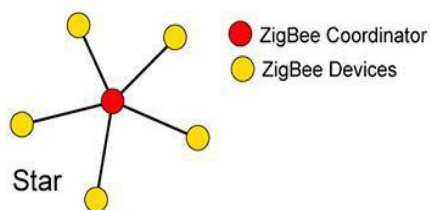
2.1 Teknologi ZigBee

Teknologi tanpa kabel atau wireless telah mengalami perkembangan yang pesat dan penggunaan teknologi ini sendiri tidak lagi asing bagi masyarakat. Teknologi wireless

yang banyak digunakan oleh masyarakat seperti contoh *bluetooth* maupun *wifi*, karena kedua perangkat tersebut sudah banyak diaplikasikan pada *smartphone*, laptop, dan beberapa *gadget* lainnya. Namun *ZigBee* sendiri bukan sebuah komunikasi yang digunakan untuk pengiriman data yang besar atau *transfer rate* yang tinggi. *ZigBee* adalah spesifikasi untuk *protocol* komunikasi tingkat tinggi yang mengacu pada standar IEEE 802.15.4. Teknologi dari *ZigBee* sendiri dimaksudkan untuk penggunaan pengiriman data secara *wireless* yang membutuhkan transmisi data rendah dan juga konsumsi daya rendah. Standar *ZigBee* sendiri lebih banyak diaplikasikan kepada *system* tertanam (*embedded application*) seperti pengendalian industri atau pengendali alat lain secara *wireless*, *data logging*, *sensor wireless* dan lain-lain.

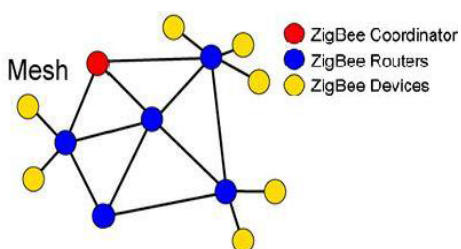
2.2 Topologi Jaringan

Jaringan *ZigBee* beroperasi pada topologi *star*, *tree*, dan *mesh*. Pemilihan topologi jaringan tergantung pada aplikasi jaringan *ZigBee*, topologi dapat mempengaruhi perilaku jaringan, oleh karena itu pemilihan topologi yang tepat sangat penting.



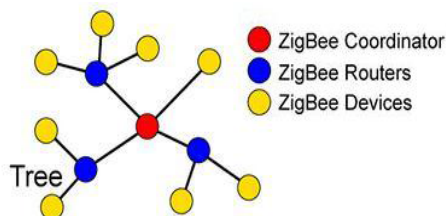
Gambar 1 Topologi Star

Topologi *star* pada Gambar 1 diatas adalah yang paling sederhana dari tiga topologi yang digunakan pada jaringan *ZigBee*. Dengan memiliki tampilan yang sederhana tetapi topologi *star* memiliki kelemahan tertentu. Pada topologi *star* sebuah koordinator dikelilingi oleh sebuah *node* baik berupa *end device* maupun *router*. Pada saat koordinator tidak berfungsi, maka jaringan tidak akan berfungsi karena semua trafik harus melewati *center* dari topologi *star*.



Gambar 2 Topologi Mesh

Gambar 2 merupakan topologi *mesh*, dimana topologi *mesh* menawarkan beberapa jalur untuk pesan dalam jaringan, topologi *mesh* cocok untuk fleksibilitas yang lebih besar dibandingkan dengan topologi lainnya. Jika sebuah *router* tertentu gagal, maka jaringan dapat merekonstruksi jalur alternatif melalui *router* lain dalam jaringan.



Gambar 3 Topologi Tree

Gambar 3 merupakan topologi *tree*, dimana topologi *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 [2].

2.3 Protokol Routing AODV

AODV adalah algoritma akuisisi rute *on-demand* murni, dimana *node-node* yang tidak bergantung pada jalur aktif, serta tidak menjaga setiap informasi rute, dan tidak berpartisipasi dalam setiap periodik perutean perubahan tabel. Selanjutnya *node* tidak harus mencari dan mempertahankan rute untuk *node* lain sampai dua *node* perlu untuk berkomunikasi, kecuali kalau *node* terdahulu sedang menawarkan layanan sebagai stasiun pengirim lanjutan untuk menjaga hubungan antara dua *node* lainnya. AODV menentukan rute hanya untuk tempat tujuan ketika *node* ingin mengirimkan paket ke tempat tujuan [3].

2.4 Perhitungan Model Propagasi Free Space Loss (FSL)

FSL (*Free Space Loss*) merupakan model propagasi yang digunakan dengan mengkondisikan transmitter dan receiver berada pada lingkungan tanpa bangunan ataupun halangan lain yang dapat menimbulkan difraksi, refleksi, absorpsi maupun blocking. Model propagasi tersebut baik apabila digunakan untuk perancangan tahap awal suatu jaringan sehingga dapat diketahui karakteristik jaringan sesuai standar yang diterapkan. Besar redaman ruang bebas secara matematis dapat dihitung dengan persamaan 1 dibawah ini:

$$L_{fs} = \frac{P_t}{P_r} \dots \dots \dots (1)$$

Dengan keterangan sebagai berikut :

L_{fs} = Free space loss (dB)
 P_t = Daya pancar di transmitter (dBm)
 P_r = Daya terima di receiver (dBm)

Dari persamaan FSL diatas maka dapat diturunkan lagi sehingga dapat diketahui parameter khusus yang mempengaruhi parameter tersebut. Besar rapat daya yang memiliki simbol F dengan jarak (d) dari suatu antena isotropis transmitter dengan daya pancar (P_t) dapat dilihat pada persamaan 2 dibawah ini:

$$F = \frac{P_t}{4\pi d^2} \dots\dots\dots(2)$$

Pada sisi receiver dengan luas lengkap (aperture) antena isotropis, maka untuk besar daya yang ditangkap (P_r) dapat dilihat pada persamaan 3 dibawah ini:

$$P_r = F \frac{\lambda^2}{4\pi} = \frac{P_t \lambda^2}{4\pi d^2 4\pi} = P_t \left(\frac{\lambda}{4\pi d}\right)^2 \dots\dots\dots(3)$$

Sehingga untuk persamaan 1 dan 2 akan didapat persamaan yang diturunkan pada persamaan 4 berikut ini:

$$L_{fs} = \frac{P_t}{P_r} = \frac{P_t}{P_r \left(\frac{\lambda}{4\pi d}\right)^2} \dots\dots\dots(4)$$

Karena $\lambda = c/f$ dengan c adalah cepat rambat

gelombang cahaya di ruang hampa sebesar 3×10^8 m/dt, maka besarnya redaman ruang bebas dapat dilihat pada persamaan 5 dan 6 dibawah ini:

$$L_{fs} = 10 \log \frac{4\pi d f}{\lambda c}$$

$$= 20 \log \frac{4\pi}{c} + 20 \log d + 20 \log f$$

$$= 32,5 + 20 \log d_{km} + 20 \log f_{MHz} \dots\dots(5)$$

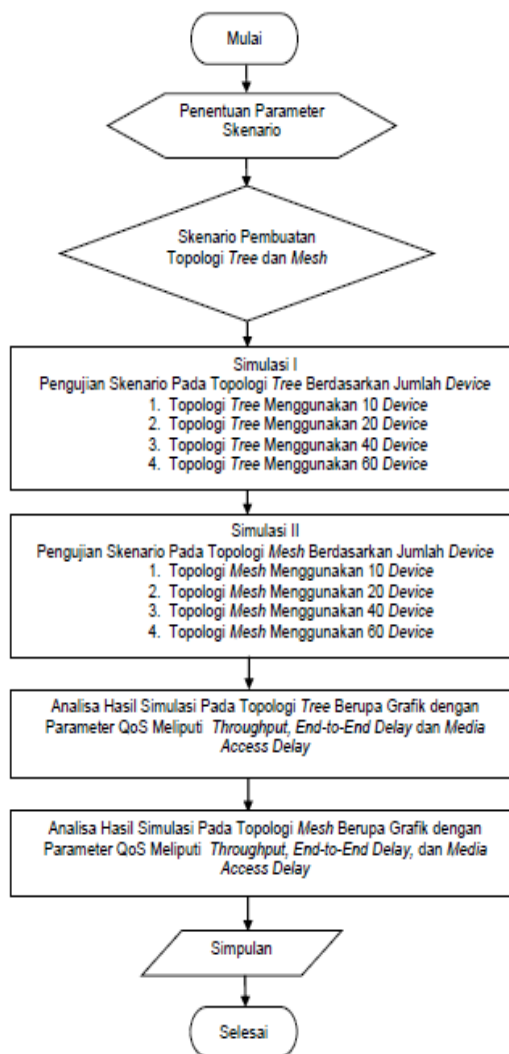
$$L_{fs} = 92,4 + 20 \log d_{km} + 20 \log f_{GHz} \dots\dots(6)$$

3. METODOLOGI PENELITIAN

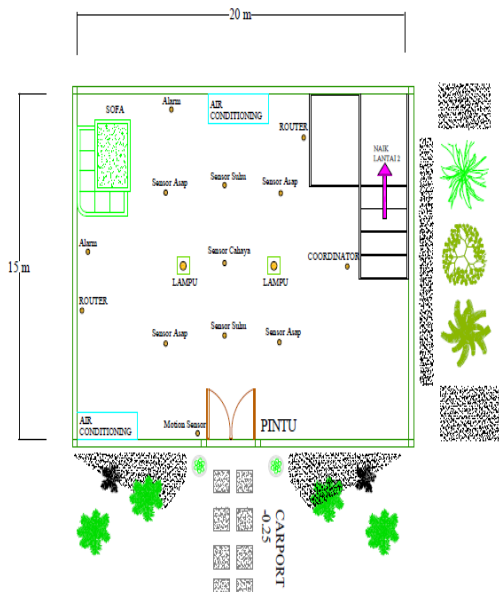
Penelitian pengaruh jumlah device terhadap performansi standar ZigBee pada Wireless Sensor Network (WSN) untuk aplikasi Smart Building menggunakan suatu pemodelan dalam menganalisis performansinya.

Model simulasi yang diimplementasikan dalam penelitian ini menggunakan aplikasi OPNET Modeler 14.5. Peneliiian ini dilakukan dalam beberapa tahapan. Tahap-tahap yang dimaksud yaitu tahap penentuan parameter skenario, tahap pembuatan/pemodelan simulasi, tahap pengujian simulasi, dan tahap analisis dari hasil pengujian simulasi.

Tahap pemodelan yang dilakukan akan mengacu pada parameter-parameter standar ZigBee yang tersedia pada aplikasi OPNET Modeler 14.5. Dimana pemodelan tersebut termasuk dalam penentuan dimensi jaringan, misalnya jumlah perangkat WSN dengan standar ZigBee, topologi jaringan yang akan dipergunakan dalam simulasi (star, tree, mesh), serta jenis dari perangkat WSN dari standar ZigBee yang akan dipergunakan (coordinator, router, end device). Parameter hasil simulasi yang akan diperoleh dalam proses pengujian meliputi, parameter Traffic Received, MAC delay, Throughput, dan End-to-End Delay. MAC delay merupakan nilai total akibat contention paket data yang diterima oleh MAC dari layer yang lebih tinggi, sedangkan untuk end-to-end delay merupakan waktu tunda yang terjadi pada suatu data, ketika dikirimkan dari transmitter menuju receiver. Dalam penelitian ini diasumsikan pengaplikasiannya yaitu pada Smart Building, dimana untuk desain dari Smart Building Lantai 1 dapat dilihat pada Gambar 5.



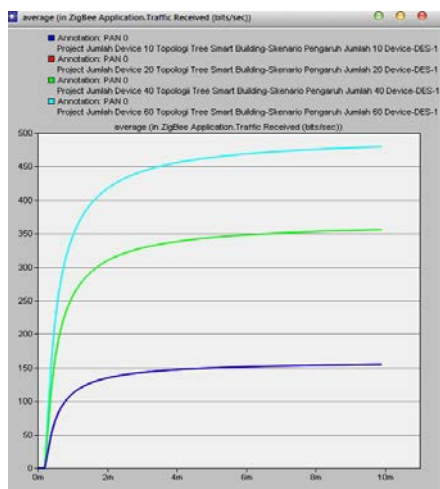
Gambar 4 Alur metodologi penelitian



Gambar 5 Desain Smart Building Untuk Lantai 1

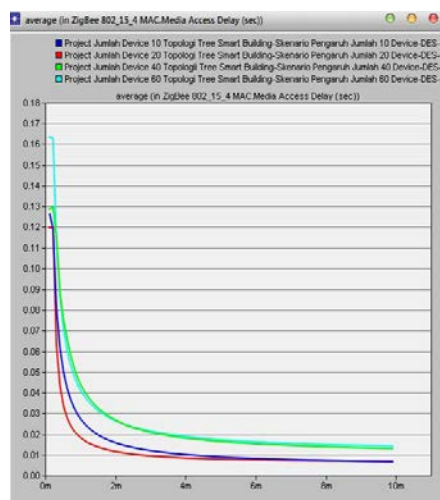
4. HASIL DAN PEMBAHASAN

Simulasi pengaruh jumlah *device* terhadap performansi standar ZigBee pada *Wireless Sensor Network* (WSN) untuk aplikasi *Smart Building* ini dilakukan dengan menjalankan simulasi menggunakan jumlah *device* sebesar 10 *device*, 20 *device*, 40 *device* dan 60 *device* pada topologi *tree* dan *mesh*. Untuk masing-masing jarak antar *device* yaitu sesuai dengan perhitungan *Free Space Loss* (FSL) sebesar 40m, *power transmit* (Ptx) yang digunakan adalah sebesar 0,00005 watt (-13 dBm), *power receiver* (Prx) sebesar -85 dBm, serta besar *packet* data adalah 128 bps. Hasil data dari simulasi akan dianalisis berupa grafik. Analisis data simulasi mencakup analisis dari pengaruh jumlah *device* atau node pada topologi *tree* dan *mesh* yang meliputi *traffic received*, *MAC Delay*, *throughput*, dan *end-to-end delay*.



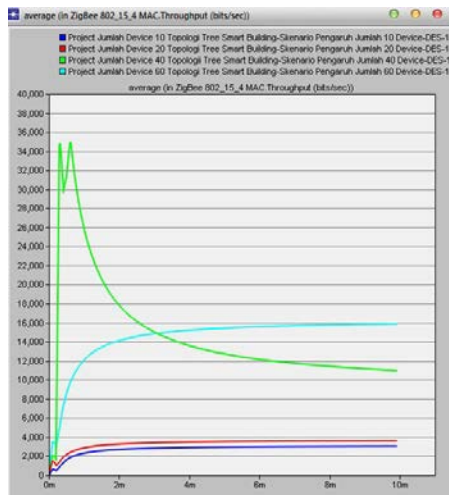
Gambar 6 Traffic Received Topologi Tree

Pada Gambar 6 yaitu menunjukkan grafik dari global *traffic received* yaitu untuk pengaruh jumlah *device* dengan menggunakan jumlah *device* sebanyak 10, 20, 40 dan 60 *device* pada topologi *tree*, dimana untuk garis vertikal menunjukkan nilai *traffic received*, sedangkan untuk garis menunjukkan waktu simulasi. Dari grafik *traffic received* untuk simulasi pengaruh jumlah *device* pada topologi *tree* selama melakukan simulasi dengan durasi 10 menit didapatkan nilai *traffic received* tertinggi pada saat menggunakan *device* sebanyak 60 yaitu sebesar 425,620 *bit/sec*.



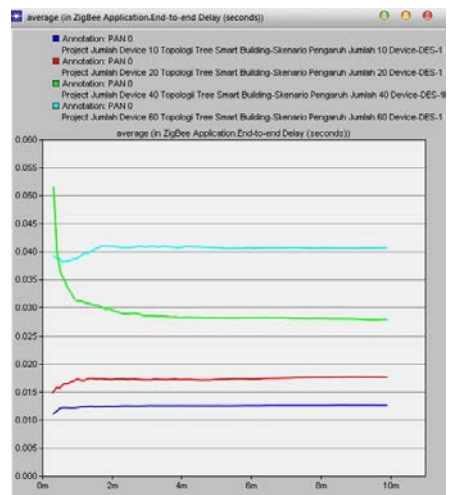
Gambar 7 MAC Delay Topologi Tree

Pada Gambar 7 yaitu menunjukkan grafik dari global *MAC Delay* yaitu untuk pengaruh jumlah *device* dengan menggunakan jumlah *device* sebanyak 10, 20, 40 dan 60 *device* pada topologi *tree*, dimana untuk garis vertikal menunjukkan nilai *MAC delay*, sedangkan untuk garis horizontal menunjukkan waktu simulasi. Dari grafik *MAC Delay* untuk simulasi pengaruh jumlah *device* pada topologi *tree* selama melakukan simulasi dengan durasi 10 menit didapatkan nilai *MAC Delay* tertinggi pada saat jumlah *device* sebanyak 60 yaitu sebesar 0,02545 *second*.



Gambar 8 Throughput Topologi Tree

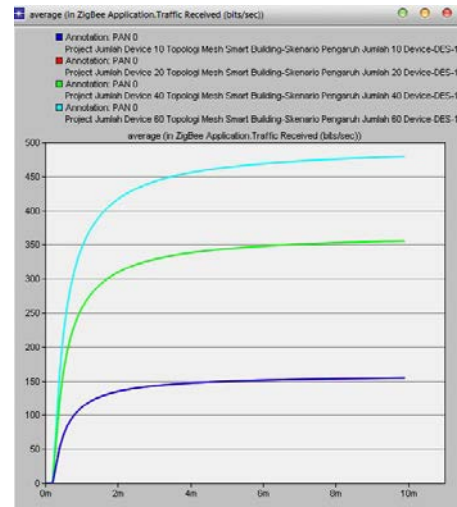
Pada Gambar 8 yaitu menunjukkan grafik dari global *throughput* yaitu untuk pengaruh jumlah *device* dengan menggunakan jumlah *device* sebanyak 10, 20, 40 dan 60 *device* pada topologi *tree*, dimana untuk garis vertikal menunjukkan nilai *throughput*, sedangkan garis horizontal menunjukkan waktu simulasi. Dari grafik *throughput* untuk simulasi pengaruh jumlah *device* pada topologi *tree* selama melakukan simulasi dengan durasi 10 menit didapatkan nilai *throughput* tertinggi pada saat jumlah *device* sebanyak 40 yaitu sebesar 14569 bps.



Gambar 9 End-to-End Delay Topologi Tree

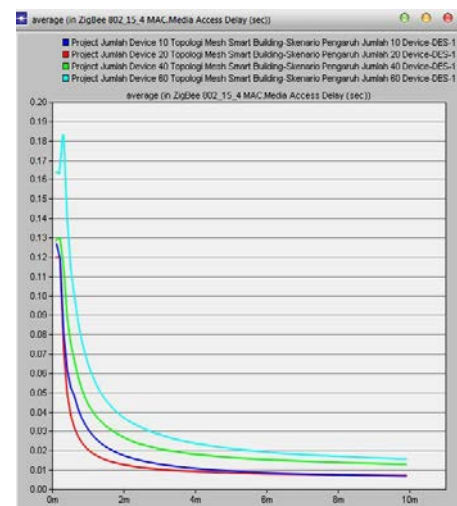
Pada Gambar 9 yaitu menunjukkan grafik dari global *end-to-end delay* yaitu untuk pengaruh jumlah *device* dengan menggunakan jumlah *device* sebanyak 10, 20, 40 dan 60 *device* pada topologi *tree*, dimana untuk garis vertikal menunjukkan nilai *end-to-end delay*, sedangkan garis horizontal menunjukkan waktu simulasi. Dari grafik *end-to-end delay* untuk simulasi pengaruh jumlah *device* pada topologi *tree* selama melakukan simulasi dengan durasi 10 menit didapatkan

nilai *end-to-end delay* tertinggi pada saat jumlah *device* sebanyak 60 yaitu sebesar 0,04050 second.



Gambar 10 Traffic Received Topologi Mesh

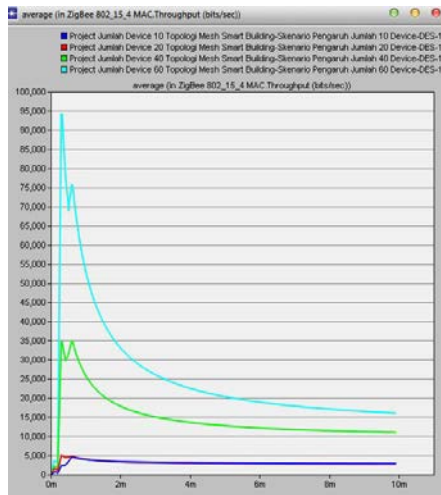
Pada Gambar 10 yaitu menunjukkan grafik dari global *traffic received* yaitu untuk pengaruh jumlah *device* dengan menggunakan jumlah *device* sebanyak 10, 20, 40 dan 60 *device* pada topologi *mesh*, dimana untuk garis vertikal menunjukkan nilai *traffic received*, sedangkan garis horizontal menunjukkan waktu simulasi. Dari grafik *traffic received* untuk simulasi pengaruh jumlah *device* pada topologi *mesh* selama melakukan simulasi dengan durasi 10 menit didapatkan nilai *traffic received* tertinggi pada saat menggunakan *device* sebanyak 60 yaitu sebesar 425,620 bit/sec



Gambar 11 MAC Delay Topologi Mesh

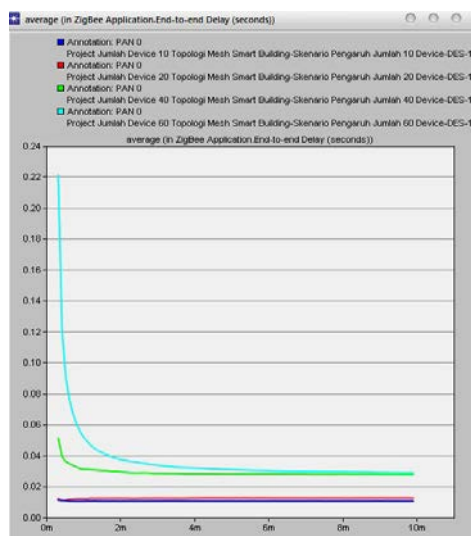
Pada Gambar 11 yaitu menunjukkan grafik dari global *MAC Delay* yaitu untuk pengaruh jumlah *device* dengan menggunakan jumlah *device* sebanyak 10, 20, 40 dan 60 *device* pada topologi *mesh*, dimana

untuk garis vertikal menunjukkan nilai *MAC delay*, sedangkan untuk garis horizontal menunjukkan waktu simulasi. Dari grafik *MAC Delay* untuk simulasi pengaruh jumlah *device* pada topologi *mesh* selama melakukan simulasi dengan durasi 10 menit didapatkan nilai *MAC Delay* tertinggi pada saat jumlah *device* sebanyak 60 yaitu sebesar 0,03312 *second*.



Gambar 12 Throughput Topologi Mesh

Pada Gambar 12 yaitu menunjukkan grafik dari global *throughput* yaitu untuk pengaruh jumlah *device* dengan menggunakan jumlah *device* sebanyak 10, 20, 40 dan 60 *device* pada topologi *mesh*, dimana untuk garis vertikal menunjukkan nilai *throughput*, sedangkan untuk garis horizontal menunjukkan waktu simulasi. Dari grafik *throughput* untuk simulasi pengaruh jumlah *device* pada topologi *mesh* selama melakukan simulasi dengan durasi 10 menit didapatkan nilai *throughput* tertinggi pada saat jumlah *device* sebanyak 60 yaitu sebesar 25612 bps.



Gambar 13 End-to-End Delay Topologi Mesh

Pada Gambar 13 yaitu menunjukkan grafik dari global *end-to-end delay* yaitu untuk pengaruh jumlah *device* dengan menggunakan jumlah *device* sebanyak 10, 20, 40 dan 60 *device* pada topologi *tree*, dimana untuk garis vertikal menunjukkan nilai *end-to-end delay*, sedangkan untuk garis horizontal menunjukkan waktu simulasi. Dari grafik *end-to-end delay* untuk simulasi pengaruh jumlah *device* pada topologi *tree* selama melakukan simulasi dengan durasi 10 menit didapatkan nilai *end-to-end delay* tertinggi pada saat jumlah *device* sebanyak 60 yaitu sebesar 0,04050 *second*.

Tabel 1 Data Hasil Simulasi Pengaruh Jumlah Device

Topologi	Jumlah Device	Traffic Received (bit/sec)	MAC Delay (sec)	Throughput (bit/sec)	End-to-end Delay (sec)
Tree	10	137,311	0,01523	2743	0,01243
	20	137,312	0,01265	3309	0,01725
	40	315,791	0,02451	14569	0,02914
	60	425,620	0,02545	14364	0,04050
Mesh	10	137,311	0,01615	3002	0,01055
	20	137,312	0,01364	3002	0,01251
	40	315,791	0,02451	14569	0,02914
	60	425,620	0,03312	25612	0,03734

Dari tabel 1 dapat dilihat bahwa nilai *traffic received* untuk pengaruh jumlah *device* pada topologi *tree* dan *mesh* mengalami peningkatan pada jumlah *device* 40 dan 60 dengan nilai rata-rata yang sama yaitu 315,791 *bit/sec* untuk jumlah *device* 40 dan 420,620 *bit/sec* untuk jumlah *device* 60. Untuk nilai *MAC delay* pada topologi *tree* dan *mesh* berbeda-beda dan nilai tertinggi untuk topologi *tree* pada saat jumlah *device* sebanyak 60 yaitu 0,02545 *sec*, pada topologi *mesh* juga memiliki nilai *MAC delay* tertinggi saat menggunakan jumlah *device* sebanyak 60 yaitu 0,03312 *sec*. Untuk nilai *throughput* semakin membesar seiring dengan bertambahnya jumlah *device*. Peningkatan *throughput* cukup berarti pada jumlah *device* mulai dari menggunakan 10 *device*, 20 *device*, 40 *device* dan 60 *device*. Nilai *throughput* tertinggi pada topologi *tree* yaitu 14569 bps, sedangkan nilai *throughput* tertinggi pada topologi *mesh* yaitu 25612 bps.

Analisis selanjutnya yaitu untuk nilai *end-to-end delay*, nilai *end-to-end delay* kecenderungan semakin besar seiring dengan bertambahnya jumlah *device*. Nilai maksimal dari *end-to-end delay* adalah sebesar 0,04050 *sec* untuk topologi *tree* pada kondisi jumlah *device* sebesar 60, sedangkan nilai maksimal *end-to-end delay* topologi *mesh* adalah 0,03734 *sec* pada kondisi jumlah *device* sebesar 60. Namun karena nilai *end-to-*

end delay semakin besar semakin buruk, maka apabila diambil batas nilai *end-to-end delay* sebesar 0,30000 sec merupakan kondisi yang buruk, diperoleh jumlah *device* yang memenuhi syarat terpenuhi hingga jumlah *device* 40 pada topologi *tree* dan *mesh*.

5. SIMPULAN

Berdasarkan hasil pembahasan, di dapatkan beberapa kesimpulan sebagai berikut:

1. *Traffic received* pada IEEE 802.15.4 ZigBee adalah sama untuk kedua topologi dilihat dari jumlah *device* yang berbeda-beda.
2. Nilai MAC *delay* pada topologi *tree* dan *mesh* untuk pengaruh jumlah *device* yaitu memiliki nilai yang berbeda-beda, nilai MAC *delay* tertinggi dicapai topologi *tree* saat jumlah *device* sebanyak 60, sedangkan untuk topologi *mesh* juga dicapai saat jumlah *device* sebanyak 60. Jadi, semakin bertambah jumlah *device* maka nilai MAC *delay* akan semakin tinggi.
3. Hasil analisis dari *throughput* untuk topologi *tree* dan *mesh* menunjukkan perilaku semakin besar jumlah perangkat WSN, maka *throughput* akan semakin membesar untuk jumlah *device* mencapai hingga 60 *device* pada topologi *mesh* dan untuk topologi *tree* nilai *throughput* membesar saat menggunakan jumlah *device* sebanyak 40 *device*. Nilai *throughput* pada topologi *tree* menurun karena sering terjadinya *collision* saat pengiriman paket seiring bertambahnya jumlah *device* atau *node*. Penurunan ini mulai terlihat pada saat jumlah *device* mencapai 60.
4. Hasil analisis parameter *end-to-end delay* topologi *tree* dan topologi *mesh* menunjukkan bahwa nilai *end-to-end delay* semakin besar seiring dengan bertambahnya jumlah *device*.

6. DAFTAR PUSTAKA

- [1] Gabri Malek, AL., Li, Chunlin., Li, Layuan. 2014. Improving ZigBee AODV Mesh Routing Algorithm Topology and Simulation Analysis, *TELKOMNIKA Indonesian Journal of Electrical Engineering*, Vol.12, No.2, Pp. 1528-1535.
- [2] Huang, Y., Pang, Ai Chun., Hsiu, Pi Cheng. 2012. Distributed Throughput Optimization for ZigBee Cluster-Tree

Networks. *IEEE Transactions On Parallel and Distributed Systems*, Vol. 23, No. 3.

- [3] Kocian, A, Hammoodi, I.S, Stewart, B.G, McMeekin, S.G. 2009. A Comprehensive Performance Study of OPNET Modeler For ZigBee Wireless Sensor Networks. *Proceedings of Third International Conference on Next Generation Mobile Applications, Services and Technologies*. Italy : University of Rome "Tor Vergata".
- [4] Mihajlov, Boris., Bagdanoski, Mitko. 2011. Overview and Analysis of the Performances of ZigBee based Wireless Sensor Networks. *International Journal of Computer Applications (0975-8887)*, Volume. 29, No. 12.
- [5] Mahajan, Rana., Nair, Sudha. 2013. Performance Evaluation of Zigbee Protocol Using Opnet Modeler for Mine Safety. *International Journal of Computer Science and Network*. ISSN (Online): 2277-5420.
- [6] www.zigbee.org. Diakses Pada Tanggal 15 Oktober 2014.