

Simulasi dan Analisa Kinerja Protokol 802.15.4 (Zigbee) pada Jaringan Sensor Nirkabel

Arizal Lebda Septyantono dan Wirawan

Jurusan Teknik Elektro, Fakultas Teknologi Industri, Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS)

Jl. Arief Rahman Hakim, Surabaya 60111

E-mail: wirawan@ee.its.ac.id

Abstrak— Jaringan sensor nirkabel digunakan untuk memantau daerah rawan bencana alam, sensor suhu suatu pabrik, dan lain lain. Node – node sensor tersebut diletakkan pada daerah yang sulit dijangkau oleh manusia. Oleh karena itu konsumsi energinya rendah, delay yang tidak terlalu lama, dan *throughput* yang sesuai dengan kebutuhan, serta drop paket yang sedikit merupakan hal yang harus diperhatikan. Untuk mengatasi masalah tersebut dikembangkan protokol 802.15.4 (Zigbee). Makalah ini menjelaskan uji performa (*throughput*, *delay* dan konsumsi energi) dari protokol 802.15.4 (Zigbee) dengan 3 mode (*beacon mode*, *inactive slot mode* dan *non-beacon mode*). Dari analisa data simulasi dapat disimpulkan bahwa pada saat interval pengiriman pesan 1 detik atau pada saat trafik dalam keadaan paling padat mode *beacon* memiliki nilai *throughput* lebih besar yaitu antara 2,82% - 34,71% dari pada mode *non-beacon* dan mode *inactive slot* memiliki *throughput* 7,93% - 43,28% lebih kecil dari pada mode *non-beacon*, serta pada interval pengiriman pesan ini mode *beacon* memiliki nilai konsumsi energi lebih besar 30,9% - 75,84% dari pada mode *non-beacon* dan nilai konsumsi energi pada mode *inactive slot* lebih besar 16,41% - 68,96% dari pada mode *non-beacon*. Sedangkan pada nilai *delay* memiliki nilai yang berbanding terbalik dari pada nilai *throughput*, pada interval pengiriman pesan 10 detik atau kondisi trafik paling tidak pada simulasi ini, mode *beacon* memiliki nilai *delay* lebih besar 1,85% - 83,93% dari pada mode *non-beacon* dan pada mode *inactive slot* memiliki nilai *delay* lebih besar 84,52% - 90,06% dari pada mode *non-beacon*. Bertambahnya jumlah node juga mempengaruhi nilai kinerja dari protokol 802.15.4 (Zigbee).

Kata Kunci—*beacon mode*, *inactive slot*, *non-beacon mode* *throughput*, *delay*, *wireless sensor network*.

I. PENDAHULUAN

Jaringan sensor nirkabel merupakan suatu jaringan yang terdiri dari node-node sensor yang disebarkan pada area tertentu. Node sensor dikomposisikan dari beberapa module seperti *embeded processor*, memori, sensor, dan radio dengan konsumsi energi yang minimum. Perangkat-perangkat pada node sensor membutuhkan baterai sebagai sumber energinya. Node sensor digunakan untuk mengumpulkan, merasakan, memproses data, dan mengirimkan data. Node sensor menggunakan link komunikasi nirkabel agar dapat berkomunikasi dengan node-node lainnya.

Ada beberapa teknik dan cara agar node sensor dapat mengonsumsi energi secara efisien. Salah satunya yaitu dengan mempertimbangkan peran dari protokol *media access control* (MAC). MAC merupakan bagian dari lapisan data link control. MAC mempunyai fungsi untuk mengatur akses media agar tidak terjadi tabrakan data (*collision*). Sebagai contoh yaitu protokol MAC pada 802.11 yang digunakan pada

jaringan komputer nirkabel. Tetapi protokol 802.11 ini tidak cocok untuk digunakan pada jaringan sensor nirkabel. Dikarenakan protokol 802.11 tidak didesain untuk penghematan konsumsi energi.

Salah satu protokol yang sesuai pada jaringan sensor nirkabel yaitu protokol 802.15.4 (ZigBee). Dalam layer media akses kontrol protokol 802.15.4 (ZigBee), terdapat tiga mekanisme untuk mengakses saluran yaitu mode *beacon*, *inactive slot* dan mode *non-beacon*.

Pada tugas akhir ini akan dilakukan suatu penganalisaan karakteristik kinerja dari protokol 802.15.4 (ZigBee) dengan cara mensimulasikan menggunakan perangkat lunak network simulator 2 (NS-2). Tahap pengerjaan tugas akhir ini adalah berupa pembelajaran prinsip kerja dari protokol 802.15.4 (ZigBee), protokol routing yang digunakan, *library* dari perangkat lunak NS-2, dan pengujian hasil program yang telah dilakukan. Dalam tugas tugas akhir ini parameter-parameter penganalisaan data yang digunakan yaitu *throughput*, *end to end delay* dan konsumsi energi.

II. TEORI PENUNJANG

A. Protokol 802.15.4 (Zigbee)

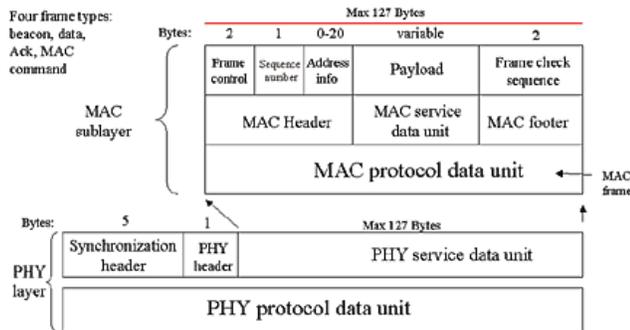
ZigBee adalah spesifikasi untuk jaringan protokol komunikasi tingkat tinggi, menggunakan radio digital berukuran kecil dengan daya rendah, dan berbasis pada standar IEEE 802.15.4 untuk jaringan personal nirkabel tingkat rendah, seperti alat pengukur listrik dengan inovasi *In-Home Display* (IHD), serta perangkat-perangkat elektronik konsumen lainnya yang menggunakan jaringan radio jarak dekat dengan daya transfer data tingkat rendah. ZigBee fokus pada aplikasi *Radio Frequency* (RF) yang membutuhkan data tingkat rendah, baterai tahan lama, serta jaringan yang aman [8]. Perbedaan mendasar antara Zigbee dan IEEE 802.15.4 adalah pada cakupan layer yang di tangani oleh masing – masing komite, IEEE 802.15.4 fokus kepada 2 layer terbawah, yaitu lapisan fisik dan lapisan MAC (*Media Access Control*). Sedangkan *Zigbee Alliance* menangani 2 protokol lainnya, yaitu lapisan *network* dan lapisan aplikasi.

A.1 *Media Access Control*

Lapisan ini didefinisikan oleh standar IEEE 802.15.4 antara lain, mempunyai tugas untuk pengaksesan saluran agar tidak terjadi tabrakan (*Collision*). Ada dua mekanisme untuk mengakses saluran yaitu mode *beacon* dan mode *non-beacon*. Mode *beacon* menggunakan teknik CSMA/CA, sedangkan node non beacon menggunakan teknik non CSMA/CA [1].

Pada *Beacon mode*, pada awalnya alat yang berada pada jaringan, akan menunggu transmisi (*beacon*) dari

koordinatornya yang akan dikirim secara periodic, jika pesan yang dikirimkan telah selesai, maka koordinator akan menentukan jadwal untuk mengirimkan beacon kembali. sambil menunggu itu, maka *device* tersebut dapat kembali ke *idle mode* sampai jadwal yang telah ditentukan. Pada *beacon mode*, *devices* yang ada akan masuk kedalam *idle mode*, dan hanya akan *wake up* pada saat akan ada pengiriman pesan data, sehingga koordinator perlu dalam keadaan hidup terus menerus[1].

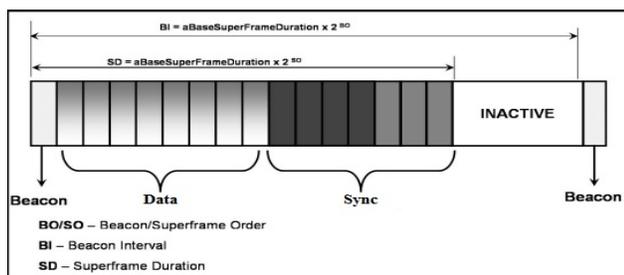


Gambar. 1. format frame 802.15.4

Gambar 1 menunjukkan konstruksi dari frame data, juga disebut paket data dari protokol 802.15.4. Dalam protokol data unit MAC, *payload* data ditambahkan dengan sumber dan tujuan alamat, nomor urut untuk memungkinkan penerima untuk mengakui bahwa semua paket yang ditransmisikan telah diterima, byte kontrol frame yang menentukan lingkungan jaringan dan parameter penting lainnya, dan akhirnya urutan frame yang memungkinkan penerima memverifikasi bahwa paket itu diterima tidak rusak. MAC frame ini ditambahkan ke PHY sinkronisasi dan PHY header, yang menyediakan mekanisme yang kuat bagi penerima untuk cepat mengenali dan *decode* paket yang diterima.

A.2 Struktur Superframe

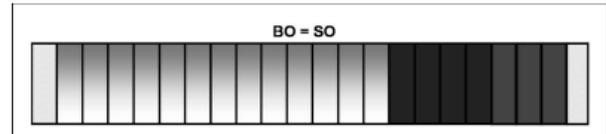
Struktur superframe (Gambar 2) merupakan bagian opsional dari WPAN. Superframe adalah durasi waktu antara dua beacon berturut-turut. Struktur superframe ditentukan oleh koordinator. Koordinator juga dapat mematikan penggunaan superframe dengan tidak mengirimkan beacon tersebut. Durasi superframe dibagi menjadi 16 slot bersamaan. Beacon ditransmisikan dalam slot pertama. Sisa bagian dari durasi superframe dapat digambarkan dengan istilah, CAP, CFP dan aktif. Superframe ini digunakan untuk menyediakan statistik vital seperti sinkronisasi, mengidentifikasi PAN dan struktur superframe, ke perangkat yang terhubung dalam PAN Wireless [2].



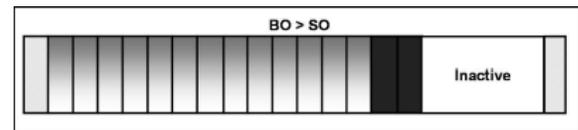
Gambar. 2. Struktur Superframe

Struktur superframe ditentukan oleh dua parameter *Superframe Order* (SO) dan *Beacon Order* (BO). Urutan superframe adalah variabel yang digunakan untuk menentukan panjang durasi superframe.

Untuk SO = BO (Gambar 3), interval sinyal adalah sama dengan durasi superframe menunjukkan tidak ada bagian yang tidak aktif. Demikian pula, ketika BO lebih besar dari SO (Gambar 4), menunjukkan ada bagian yang tidak aktif dalam superframe tersebut.



Gambar. 3. BO = SO



Gambar. 4. BO > SO

III. SIMULASI PROTOKOL 802.15.4 (ZIGBEE)

A. Konfigurasi Topologi Node

Topologi yang digunakan pada simulasi protokol 802.15.4 (Zigbee) diperlihatkan pada gambar 5. Dikarenakan pada ns-2 jarak secara default jarak pancarnya adalah 23 meter maka jarak yang digunakan baik dari *gateway* ke node *device* maupun dari node koordinator ke node *device* adalah 20 meter.

Dikarenakan pada simulasi ini secara murni hanya menguji performa protokol 802.15.4 (Zigbee) maka protokol routing yang digunakan adalah AODV. Untuk jenis paket yang digunakan adalah paket UDP dengan ukuran 70 Byte perpaket. Jenis sumber trafik yang digunakan adalah CBR [3].

B. Konfigurasi Protokol 802.15.4(Zigbee)

Setelah melakukan konfigurasi node, maka selanjutnya adalah melakukan konfigurasi protokol 802.15.4 (Zigbee). Pada simulasi ini menggunakan panjang frame paket data sebesar 70 byte, untuk *contention window* untuk sinkronisasi menggunakan 4 time slot, dan untuk *contention window* untuk data menggunakan 10 time slot.

Untuk simulasi konsumsi energi maka pada simulasi dilakukan konfigurasi parameter untuk konsumsi daya. Pada simulasi ini menggunakan parameter untuk konsumsi daya pancar sebesar 74 mW, konsumsi daya penerima sebesar 64 mW dan untuk konsumsi daya pada saat idle sebesar 0,00552 mW.

Tabel 1. Parameter Simulasi

Jenis MAC	802.15.4 (Zigbee)
Protokol routing	AODV
Panjang frame paket data	70 byte
Konsumsi daya pancar	74,4mW
Konsumsi daya penerima	64,8mW
Konsumsi daya idle	0,00552mW
Contention window untuk	4 slot

sinkronisasi	
Contention window untuk data	10 slot
Contention window untuk beacon	2 slot jika mode beacon

Pada simulasi ada beberapa mode yang digunakan yaitu sebagai berikut.

1. 802.15.4 (Zigbee) dengan beacon
2. 802.15.4 (Zigbee) dengan inactive slot
3. 802.15.4 (Zigbee) tanpa beacon

C. Perhitungan Jarak Pancar Radio pada Propagasi TwoRay Ground

Berikut merupakan perhitungan secara manual untuk menentukan jarak pancar radio dalam propagasi untuk bidang pantul datar.

Parameter yang digunakan:

- Pt (daya pancar) = 0,001 watt
- Pr (respon sensitivitas) = $1,995 \times 10^{-13}$ watt
- Ht (ketinggian antenna pemancar) = 0,0864 meter
- Hr (ketinggian antenna penerima) = 0,0864 meter
- Gt (gain antenna pemancar) = 1
- Gr (gain antenna penerima) = 1

$$d = \sqrt[4]{\frac{Pt \cdot Gt \cdot Gr \cdot ht^2 \cdot hr^2}{Pr}}$$

$$d = \sqrt[4]{\frac{0,001 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 0,0864^2 \cdot 0,0864^2}{1,995 \times 10^{-13}}}$$

$d = 22,98942 \text{ m} = 23 \text{ m}$

dari perhitungan telah didapat nilai dari jarak pancar radio sebesar 23m. Sehingga dalam menentukan posisi node dalam tugas akhir ini yaitu nilai jarak antar node sebesar 20 meter.

D. Perhitungan Nilai Beacon Interval

Untuk melakukan pembuatan simulasi dengan protokol 802.15.4 (Zigbee) hal pertama yang dilakukan adalah mengetahui nilai *Beacon Interval* (BI) antara yang aktif dan yang tidak aktif pada superframe. Berikut adalah perhitungan manual untuk menentukan nilai *beacon interval* untuk bagian yang tidak aktif dalam *superframe*.

Parameter yang digunakan.

- aBaseSlotDuration = 60 symbols
- aNumSuperFrameSlots = 16 slot
- Rate paket = 5kbps
- BO (Beacon Order) = 3
- SO (superframe Order) = 1
- $BI = aBaseSuperFrameDuration \times 2^{BO} \text{ symbols}$
- $aBaseSuperFrameDuration = aBaseSlotDuration \times aNumSuperframeSlots$
- $aBaseSuperFrameDuration = 60 \times 16 \text{ symbols} = 960 \text{ symbols}$

menghitung nilai beacon interval dengan BO = 3 dan SO = 1

$BI = 960 \times 2^{BO} \text{ symbols}$

$BI_{BO=3} = 960 \times 8 = 7680 \text{ symbols}$

$BI_{BO=5kbps} = 7680 / 5000 = 1,536 \text{ secs}$

$BI = 1,536 \text{ secs}$

Untuk durasi superframe (SD) dapat dihitung secara manual seperti dibawah ini.

$SD = aBaseSuperframeDuration \times 2^{SO}$

$SD = 960 \times 2^{SO} \text{ symbols}$

$SD_{SO=1} = 960 \times 2^1 = 1920$

$SD_{SO=5kbps} = 1920 / 5000 = 0,324 \text{ detik}$

$SD = 0,324 \text{ detik}$

$aBaseSuperframeDuration = SD/16 = 0,324/16 = 0.02025 \text{ detik}$

$aBaseSuperframeDuration = 0.02025 \text{ detik}$

Dan terakhir adalah menentukan bagian yang tidak aktif dari superframe dapat dihitung secara manual seperti dibawah ini

$InactivePortion = BeaconInterval - SuperframeDuration$

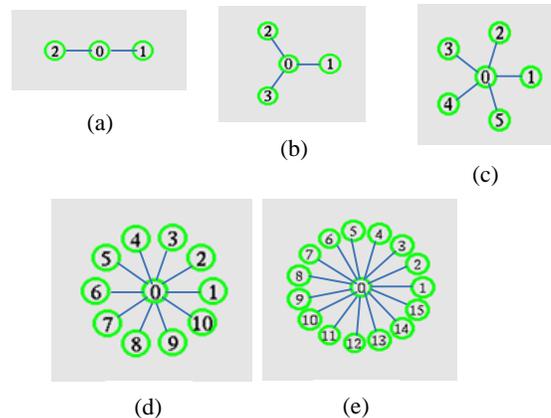
$Inactive \text{ portion} = 1,536 - 0,02025 = 1,51575 \text{ detik}$

Dari perhitungan telah didapat nilai bagian yang tidak aktif dari *beacon interval* sebesar 1,536 detik. Sehingga pada saat kondisi nilai BO = 3 dan SO = 1 yang artinya nilai BO > SO dan terdapat bagian yang tidak aktif dari *beacon interval*, dan besar bagian yang tidak aktif tersebut adalah 1,51575 detik.

IV. HASIL SIMULASI

A. Topologi yang digunakan pada simulasi protokol 802.15.4 (Zigbee)

Pada bagian ini akan dijelaskan beberapa topologi yang digunakan pada simulasi protokol 802.15.4 (Zigbee) diantaranya diperlihatkan pada gambar 6 dibawah ini.



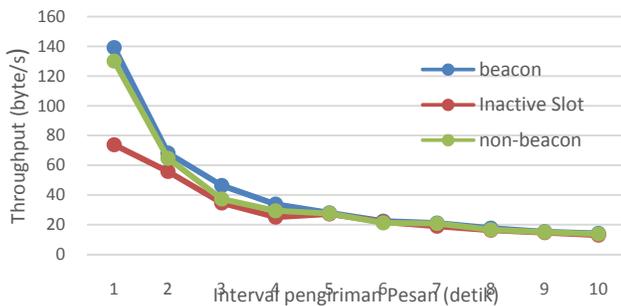
Gambar. 5. Topologi yang digunakan pada simulasi 802.15.4 (Zigbee). (a) 2 node dengan 1 gateway. (b) topologi star 3 node. (c) topologi star 5 node. (d) topologi star 10 node. (e) topologi star 15 node.

Pada gambar (a) adalah topologi dengan 2 node 1 gateway node 0 merupakan gateway dan node 1 dan node 2 merupakan device 1 dan device 2, jarak antara gateway dan node device masing – masing adalah 20meter. Gambar (b) merupakan topologi star dengan 3 node, gambar (c) merupakan topologi star dengan 5 node, gambar (d) merupakan topologi star 10 node dan gambar (e) merupakan topologi star dengan 15 node.

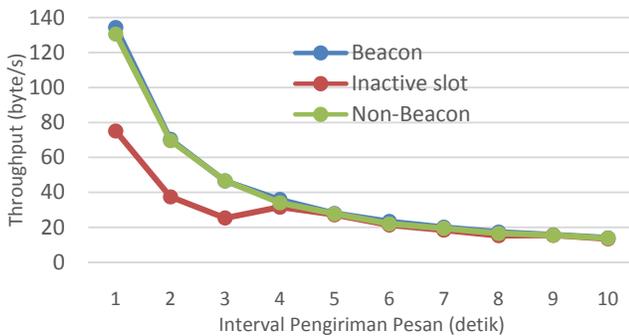
Pada gambar (b), (c), (d) dan (e) node 0 merupakan koordinator dan node 1 adalah *device* 1, node 2 adalah *device* 2, node 3 adalah *device* 3, node 4 adalah *device* 4, node 5 adalah *device* 5, node 6 adalah *device* 6, node 7 adalah *device* 7, node 8 adalah *device* 8, node 9 adalah *device* 9, node 10 adalah *device* 10, node 11 adalah *device* 11, node 12 adalah *device* 12, node 13 adalah *device* 13, node 14 adalah *device* 14 dan node 15 adalah *device* 15. Jarak antara node koordinator ke masing – masing node *device* adalah 20 meter.

B. Hasil Simulasi nilai throughput

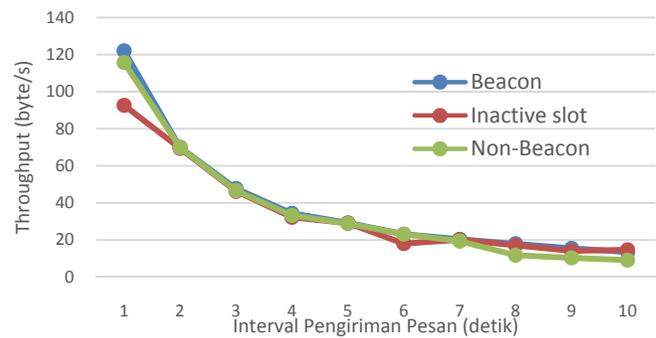
Pada bagian ini merupakan nilai *throughput* dari hasil simulasi dengan interval pengiriman pesan yang berbeda. Dari gambar 6 sampai dengan gambar 10 dapat dijelaskan bahwa pada saat interval pengiriman pesan 1 detik pada mode *beacon* memiliki nilai *throughput* yang lebih besar yaitu antara 2,82% - 34,71% dari pada mode *non-beacon* dan mode *inactive slot* memiliki *throughput* 7,93% - 43,28% lebih kecil dari pada mode *non-beacon*, tetapi pada saat trafik tidak terlalu padat nilai *throughput* untuk ketiga mode ini memiliki nilai yang hampir sama dan juga dapat dilihat dari gambar bahwa jumlah node juga berpengaruh pada nilai *throughput* pada saat trafik dalam kondisi paling padat.



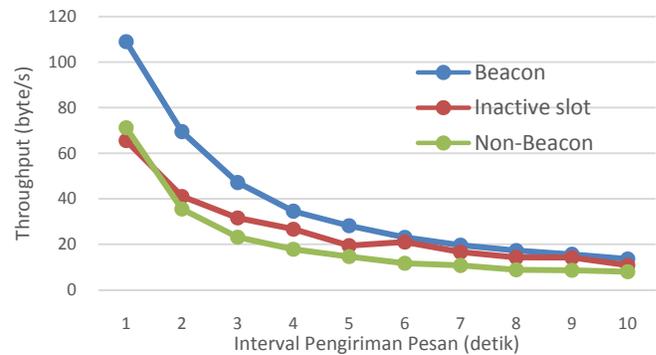
Gambar. 6. Hasil pengukuran *throughput* 2 node 1 gateway.



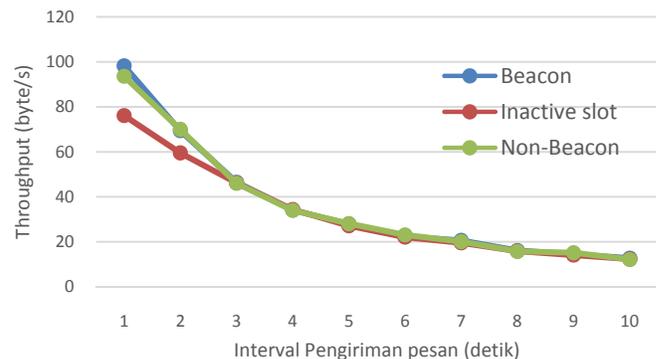
Gambar. 7. Hasil pengukuran *throughput* 3 node.



Gambar. 8. Hasil pengukuran *throughput* 5 node.



Gambar. 9. Hasil pengukuran *throughput* 10 node.

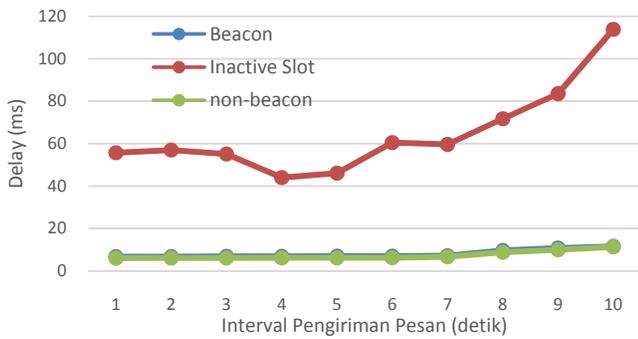


Gambar. 10. Hasil pengukuran *throughput* 15 node.

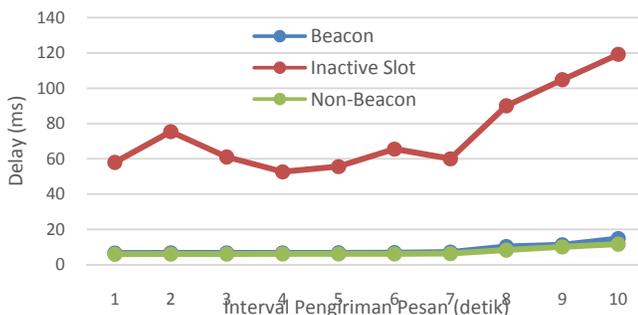
C. Hasil Simulasi Nilai Delay

Pada bagian ini merupakan nilai *delay* dari hasil simulasi dengan interval pengiriman pesan yang berbeda. Dari gambar 11 sampai dengan gambar 12 dapat dijelaskan bahwa pertama nilai *delay* berbanding terbalik dengan nilai *throughput*, jadi pada saat interval pengiriman pesan lama nilai *delay* semakin lama juga. Dan kedua nilai *delay* pada mode *beacon* dan *non-beacon* memiliki nilai *delay* yang hampir sama kecuali pada node 15. Pada interval pengiriman pesan 10 detik nilai *delay* pada mode *beacon* lebih besar 1,85% - 83,93% dari pada mode *non-beacon* dan pada mode *inactive slot* memiliki nilai *delay* lebih besar 84,52% - 90,06% dari pada mode *non-beacon*. hal ini disebabkan karena node *device* juga membutuhkan waktu dalam proses pergantian dari mode idle ke mode receive, sehingga juga mempengaruhi nilai *delay* ini. Dan pada mode *inactive slot* memiliki nilai *delay* yg paling lama, hal ini disebabkan karena pada mode ini ada slot yang tidak aktif pada frame pengiriman pesan, sehingga paket

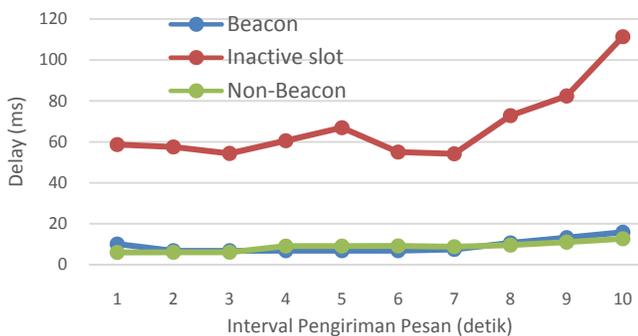
menjadi menumpuk dan juga banyak drop paket pesan pada bagian akhir simulasi.



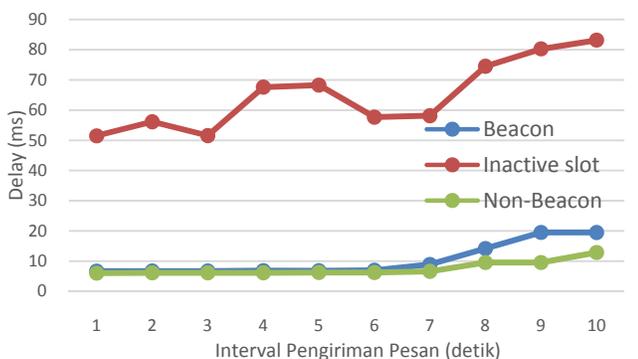
Gambar 11. Hasil pengukuran delay 2 node 1 gateway



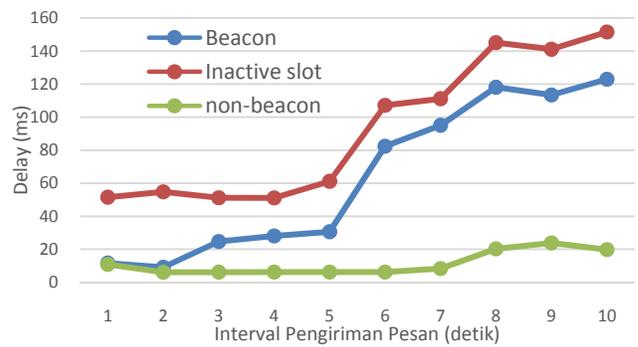
Gambar 12. Hasil pengukuran delay 3 node



Gambar 13. Hasil pengukuran delay 5 node



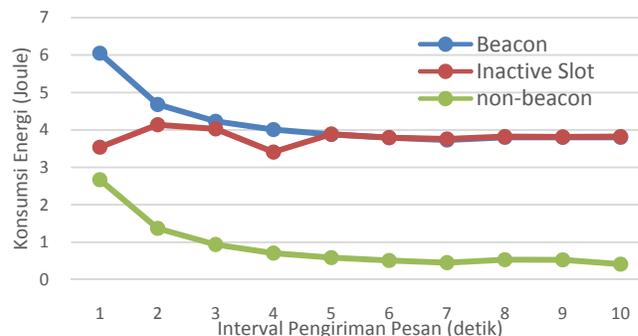
Gambar 14. Hasil pengukuran delay 10 node



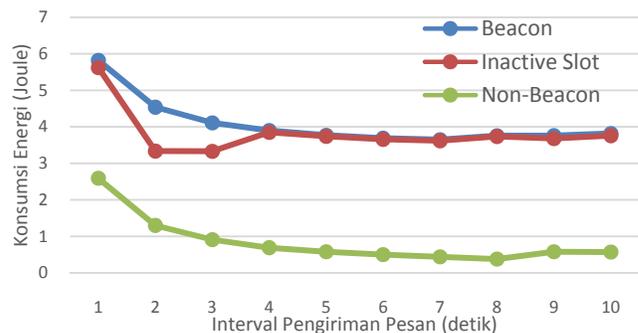
Gambar. 15. Hasil pengukuran delay 15 node.

D. Hasil Simulasi nilai Konsumsi Energi.

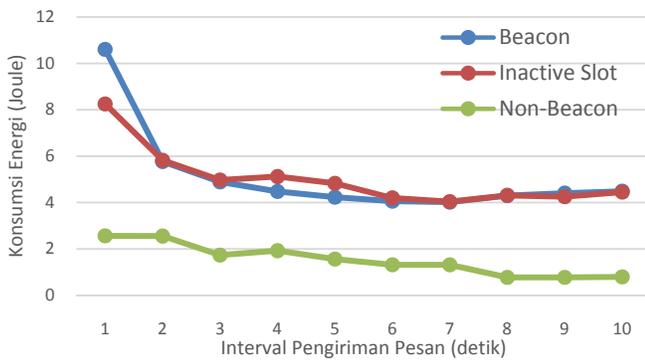
Pada bagian ini merupakan nilai delay dari hasil simulasi dengan interval pengiriman pesan yang berbeda. Dari gambar 16 sampai dengan gambar 20 dapat diperlihatkan bahwa mode non-beacon memiliki nilai konsumsi energi yang paling kecil, hal ini disebabkan karena pada mode ini sebelum pengiriman paket pesan tidak ada pengiriman “beacon” terlebih dahulu, jadi apapun kondisi node device pada mode ini akan langsung dikirimkan paket pesan, jadi walaupun memiliki nilai konsumsi energi yang kecil pada mode ini mengalami drop paket yang banyak. Pada interval pengiriman pesan 1 detik nilai konsumsi energi pada mode beacon lebih besar 30,9% - 75,84% dari pada mode non-beacon dan nilai konsumsi energi pada mode inactive slot lebih besar 16,41% - 68,96% dari pada mode non-beacon. Dan juga pertambahan jumlah node device juga mempengaruhi nilai dari konsumsi energi ini.



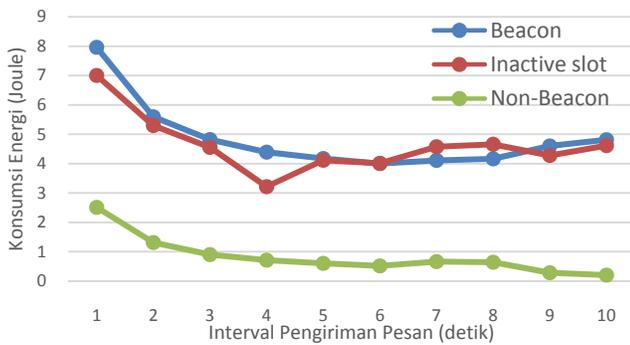
Gambar. 16. Hasil pengukuran konsumsi energi 2 node 1 gateway



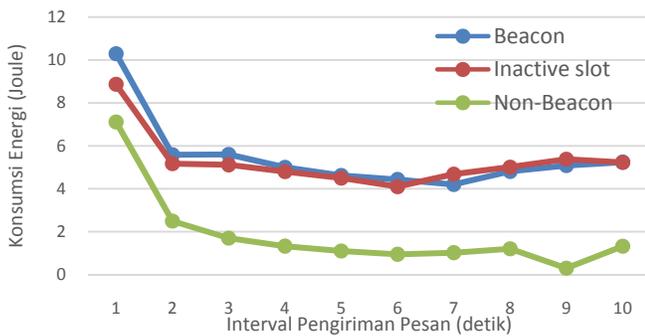
Gambar. 17. Hasil pengukuran konsumsi energi 3 node.



Gambar. 18. Hasil pengukuran konsumsi energi 5 node.



Gambar. 19. Hasil pengukuran konsumsi energi 10 node.



Gambar. 20. Hasil pengukuran konsumsi energi 15 node.

V. KESIMPULAN

Dari analisa data simulasi dapat disimpulkan bahwa pada saat interval pengiriman pesan 1 detik mode *beacon* memiliki nilai *throughput* lebih besar yaitu antara 2,82% - 34,71% dari pada mode *non-beacon* dan mode *inactive slot* memiliki *throughput* 7,93% - 43,28% lebih kecil dari pada mode *non-beacon*, serta pada interval pengiriman pesan ini mode *beacon* memiliki nilai konsumsi energilebih besar 30,9% - 75,84% dari pada mode *non-beacon* dan nilai konsumsi energi pada mode *inactive slot* lebih besar 16,41% - 68,96% dari pada mode *non-beacon*. Sedangkan pada nilai delay memiliki nilai yang berbanding terbalik dari pada nilai *throughput*, pada interval pengiriman pesan 10 detik mode *beacon* memiliki nilai delay lebih besar 1,85% - 83,93% dari pada mode *non-beacon* dan pada mode *inactive slot* memiliki nilai delay lebih besar 84,52% - 90,06% dari pada mode *non-beacon*. Yang menyebabkan nilai delay pada mode *inactive slot* lebih besar dari pada mode lainnya adalah karena pada mode ini ada bagian slot pada frame yang tidak aktif sehingga proses

pengiriman paket pesan menjadi lebih lama dan hal ini juga menyebabkan banyaknya paket drop pada akhir simulasi. Pada konsumsi energi yang menyebabkan pada mode *non-beacon* memiliki nilai yang lebih sedikit dari pada kedua mode lainnya, adalah karena pada mode ini tidak menggunakan *beacon* untuk memberitahu kepada node *device* bahwa akan ada pengiriman paket pesan sehingga node *device* dapat berganti mode dari mode *idle* menjadi mode *receive*. Dengan kata lain pada mode ini apapun kondisi node *device* paket pesan akan langsung dikirim, sehingga dapat menyebabkan drop paket. Selain hal tersebut bertambahnya jumlah node juga mempengaruhi nilai kinerja (*throughput*, *delay* dan konsumsi energi) terutama pada kondisi trafik yang padat.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Marina Petrova, Janne Riihijarvi, Petri Mahonen, Saverio Labella, "Performance Study of IEEE 802.15.4 Using Measurements and Simulations", Department of Wireless Networks RWTH Aachen University Kackertstrasse 9, Aachen, Germany.
- [2] Datasheet chips ZMD44102.
- [3] Altman, E., Tania Jiménez, "NS Simulator for begginers" , Lecturer Note, Univ De LosAndes Merida, Venezuela and ESSI SophiaAntipolis, France 4 Desember 2003.