

ANALISIS KINERJA *WIRELESS SENSOR NETWORK* MENGGUNAKAN METODE KOMBINASI SUDAS DAN ADES PADA DATA DINAMIS

Muhammad Yusril Muqorrobin

S1 Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Negeri Surabaya
muhammadmuqorrobin1@mhs.unesa.ac.id

Eppy Yundra, Nurhayati, Farid Baskoro

S1 Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Negeri Surabaya
eppyundra@unesa.ac.id, nurhayati@unesa.ac.id, faridbaskoro@unesa.ac.id

Abstrak

IEEE 802.15.4 merupakan salah satu standar dari *Wireless Sensor Network* (WSN) yang berada pada lapisan *Medium Access Control* (MAC). Tantangan dari WSN adalah bagaimana meningkatkan matrik kinerja WSN (*goodput*, *bandwidth utilisasi*, dan konsumsi energi) baik di dalam *Contention Access Period* (CAP) maupun dalam *Contention Free Period* (CFP) yang berbasis standar IEEE 802.15.4. Penelitian ini merupakan analisis kombinasi dari metode *Superframe Duration Adjustment Scheme* (SUDAS) dan metode *Adjustment Delay Scheme* (ADES) pada data dinamis yang disimulasikan menggunakan *software Castalia Simulator*. Adapun permasalahannya apakah metode kombinasi SUDAS dan ADES dapat meningkatkan matrik kinerja WSN pada data dinamis dibanding dengan metode lainnya (SUDAS, ADES, Standar IEEE 802.15.4). Tujuannya untuk mengetahui peningkatan matrik kinerja WSN jika dibandingkan dengan metode lainnya. Metode yang digunakan yaitu metode kombinasi SUDAS dan ADES, dengan pendekatan penelitian kuantitatif yang membandingkan matrik kinerja WSN dari metode kombinasi SUDAS dan ADES dibandingkan dengan metode lainnya. Berdasarkan data yang diperoleh *goodput* metode kombinasi SUDAS dan ADES masing-masing meningkat sebesar 10%, 416%, dan 513% dibanding metode SUDAS, metode ADES, dan standar IEEE 802.15.4. *Bandwidth utilisasi* metode kombinasi SUDAS dan ADES masing-masing meningkat sebesar 0.025, 0.223, dan 0.232 dibanding metode SUDAS, metode ADES, dan standar IEEE 802.15.4. Serta konsumsi metode kombinasi SUDAS dan ADES masing-masing berkurang sebesar 1.02%, 8.72%, dan 9.08% dibanding metode SUDAS, ADES, dan standar IEEE 802.15.4. Dengan menggabungkan metode SUDAS dan ADES mampu mengoptimalkan kinerja dari WSN dibandingkan dengan metode lainnya.

Kata kunci : *Wireless Sensor Network* (WSN), *Goodput*, *Bandwidth utilisasi*, Konsumsi Energi

Abstract

IEEE 802.15.4 is one of the standards of the *Wireless Sensor Network* (WSN) which is at the *Medium Access Control* (MAC) layer. The challenge of WSN is how to improve the WSN performance matrix (*goodput*, *bandwidth utilization*, and *energy consumption*) both in the *Contention Access Period* (CAP) and in the *Contention Free Period* (CFP) based on the IEEE 802.15.4 standard. This research is an analysis combination of the *Superframe Duration Adjustment Scheme* (SUDAS) method and the *Adjustment Delay Scheme* (ADES) method on dynamic data simulated using *Castalia Simulator software*. The problem is whether the combination of SUDAS and ADES methods is influential and can improve the WSN performance matrix on dynamic data compared to other methods (SUDAS, ADES, IEEE 802.15.4 Standards). Where it aims to see how influential and improve the WSN performance matrix is when compared to other methods. The method used is a combination of SUDAS and ADES methods, with a quantitative research approach that compares the WSN performance matrix from a combination of SUDAS and ADES methods compared to other methods. Based on the data obtained, the *goodput* of the combined method of SUDAS and ADES increased by 10%, 416%, and 513% respectively compared to the SUDAS method, ADES method, and IEEE 802.15.4 standards. *Bandwidth utilization* of the SUDAS and ADES combination methods increased by 0.025, 0.223 and 0.232, respectively compared to the SUDAS method, the ADES method, and the IEEE 802.15.4 standard. And the consumption of the SUDAS and ADES combination methods are respectively reduced by 1.02%, 8.72% and 9.08% compared to the SUDAS, ADES and IEEE 802.15.4 standards. By combining the SUDAS and ADES methods it is able to optimize the performance of the WSN compared to other methods.

Keywords: *Wireless Sensor Network* (WSN), *Goodput*, *Bandwidth Utilization*, *Energi Consumption*

PENDAHULUAN

Perkembangan teknologi komunikasi kini semakin mengarah kepada komunikasi secara *wireless*. Salah

satunya yaitu teknologi *Wireless Sensor Network* (WSN), yang memungkinkan penelitian secara jarak jauh melalui gadget seperti *laptop*, *remote device*, server dan sebagainya

dengan hasil informasi yang didapatkan tetap maksimal. Jaringan sensor nirkabel atau WSN dapat didefinisikan kumpulan *node* yang diatur dalam sebuah jaringan dan saling bekerja sama. Setiap *node* memiliki kemampuan pemrosesan, memiliki *transceiver* frekuensi radio, memiliki sumber daya, selain itu juga mengakomodasi berbagai sensor (sistem pendeteksi) dan *aktuator* (sistem penggerak) *Node* sensor berfungsi sebagai pendeteksi (*sensing*), data dari *node* sensor akan dikirimkan ke *node* koordinator selain itu juga sensor dapat meneruskan data dari *node* satu ke *node* lainnya yang sedang dalam jangkauannya. Data tersebut dikirim melalui medium gelombang radio, kemudian diteruskan ke *base station* yang berfungsi sebagai penghubung *node* sensor dan *user*. (Pratama, 2015).

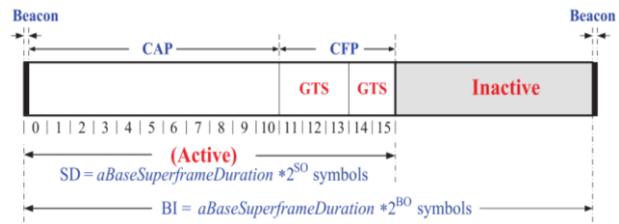
Personal Area Network (PAN) adalah salah satu jaringan komputer dikhususkan untuk menghubungkan *device* dengan *range* koneksi yang lebih pendek dan koneksi bersifat personal (hanya untuk pribadi). Peran PAN dalam WSN khususnya *Wireless Personal Area Network* (WPAN), yaitu dapat dimanfaatkan sebagai WSN namun dalam skala yang lebih kecil. WPAN bersifat *low rate*, dimana jarak koneksi dan komunikasi relatif lebih pendek dibandingkan komunikasi *wireless* lainnya (*bluetooth*, *Wi-Fi*, dll), serta *bit rate* yang relatif lebih rendah jika ditinjau dari sudut pandang jaringan komputer. Dapat juga dikatakan bahwa WSN merupakan *Low-Rate Wireless Personal Area Network* (LR-WPAN) (Pratama, 2015).

Bluetooth maupun *zigbee*, keduanya sama-sama banyak digunakan pada jaringan *wireless*, termasuk juga pada *Personal Area Network* (PAN). *Zigbee* dan *bluetooth* sama-sama menawarkan kelebihan masing-masing kepada para pengguna (Firdaus, 2014).

Standar IEEE 802.15.4 atau disebut juga dengan protokol *zigbee*, merupakan protokol jaringan *wireless* yang fungsinya hampir sama dengan *bluetooth* namun memiliki keunggulan dapat menghubungkan semua perangkat dengan cepat, daya tampung yang banyak, serta konsumsi daya yang lebih hemat. *Zigbee* bekerja pada frekuensi 2.4 GHz, dengan 16 buah *channel* di dalamnya. (Mausa, 2015)

MAC *sublayer* IEEE 802.15.4 dapat beroperasi dalam dua mode. Mode yang pertama yaitu *non beacon-enabled*, dimana koordinator PAN tidak mentransmisikan *beacon* apa pun, komunikasi dari *node device* ke koordinator PAN menggunakan *unslotted Carrier Sense Multiple Access with Collision Avoidance*(CSMA/CA). Sedangkan mode kedua yaitu *beacon-enabled* dimana koordinator PAN mentransmisikan paket *beacon* pada periode *Beacon Interval* (BI) dengan menggunakan struktur *superframe* untuk transmisi data, dan menggunakan *slotted CSMA/CA*

sebagai komunikasi dari *node device* ke *node* koordinator (Rudiyanto, 2012).



Gambar 1. Struktur *superframe* (Sumber: Standar IEEE 802.15.4, 2015)

Sebagaimana ditunjukkan pada gambar 1 struktur *superframe* terdiri atas *beacon*, periode aktif dan periode tidak aktif. Dimana durasi waktu periode aktif atau disebut *Superframe Duration* (SD) dapat diketahui menggunakan persamaan (1), sedangkan durasi total periode aktif dan tidak aktif dapat diketahui menggunakan persamaan (2). SD yang merupakan periode aktif tersusun atas *Contention Access Period* (CAP) dan *Contention Free Period* (CFP) yang berisi *Guaranteed Time Slot* (GTS). Dari gambar 1 dapat dilihat bahwa terdapat 16 *slot* waktu yang dibagi sama besar pada periode aktif. *Slot* tersebut digunakan untuk melakukan transmisi data. Untuk menghemat energi dised iakan periode tidak aktif dimana semua perangkat dalam keadaan *mode sleep* sampai terdapat *beacon* lagi untuk mentransmisikan data. (Lee, dkk, 2015).

Panjang *superframe* ditentukan oleh dua parameter: *Beacon Order* (BO) dan *Superframe Order* (SO). Dimana interval nilai BO dan SO yaitu $0 \leq SO \leq BO \leq 14$.

Superframe Duration (SD) dan *Beacon Interval* (BI) dikalkulasikan menggunakan persamaan (1) dan (2):

$$SD = aBaseSuperframeDuration \times 2^{SO} \quad (1)$$

(Sumber: Lee, dkk, 2015)

$$BI = aBaseSuperframeDuration \times 2^{BO} \quad (2)$$

(Sumber: Lee, dkk, 2015)

Keterangan :

SO = *Superframe Order*

BO = *Beacon Order*

SD = *Superframe Duration* (simbol)

BI = *Beacon Interval* (simbol)

aBaseSuperframeDuration = durasi minimum *superframe* (simbol)

Jika nilai $BO = SO = 0$ panjang *superframe* (SD) akan bernilai konstan yang sama dengan *aBaseSuperframeDuration* atau setara dengan 960 simbol. Ketika perangkat menggunakan *slot CSMA-CA* untuk menggunakan *channel* dan mengirim paket, *frame beacon* dari *slot 0* akan ditransmisikan oleh koordinator PAN untuk semua periode *superframe* yang kemudian diikuti

dengan CAP. Pada *slot* CSMA, koordinator PAN akan menyelaraskan *slot-slot* pembatas *superframe* dengan periode *backoff* pembatas semua perangkat pada PAN. Setelah CAP, dilanjutkan dengan CFP yang tersusun dari GTS. Perangkat yang meminta *slot* GTS akan dialokasikan *bandwith* oleh koordinator PAN untuk mentransmisikan paket tanpa harus menyelesaikan *channel*. Total perangkat yang dapat dialokasikan GTS dibatasi hingga tujuh dan alokasi dari GTS tidak boleh mengurangi panjang CAP kurang dari nilai *MinCAPLength*. Semua perangkat dengan data periodik dapat meminta *slot* GTS melalui perintah *request* GTS. Selanjutnya koordinator PAN yang menerima *request* GTS akan mengecek apakah jumlah total alokasi GTS kurang dari tujuh dan apakah alokasi dari GTS baru tidak mengurangi panjang dari periode CAP kurang dari *aMinCAPLength* jika ya, maka koordinator akan menerima *request* tersebut, sebaliknya jika tidak maka *request* GTS akan didrop. Ketika periode tidak aktif semua perangkat berada dalam *mode sleep* dan aktif kembali ketika ada *beacon* yang masuk dari koordinator. (Harsono, 2017)

CSMA/CA merupakan protokol *contention* pada jaringan yang menggunakan mekanisme *carrier sensing* untuk menghindari *collision* (tabrakan). Algoritma CSMA/CA berdasarkan pada *Unit Backoff Period* (UBP), satu periode *backoff* memiliki nilai *aUnitBackoffPeriod* atau setara dengan 20 simbol. UBP merupakan satuan dasar waktu protokol MAC dan akses menuju *channel* hanya dapat terjadi pada batas periode *backoff*. (Standar IEEE 802.15.4, 2015)

Superframe Duration Adjustment Scheme (SUDAS) adalah skema penyesuaian terhadap ukuran GTS. SUDAS bertujuan untuk secara akurat menentukan nilai *slot* GTS berdasarkan panjang ukuran paket dan tingkat kedatangan paket. SUDAS juga bertujuan untuk meningkatkan probabilitas keberhasilan transmisi, *throughput* jaringan, *bandwidth utilisasi* rata-rata, dan konsumsi energi dengan mengelola alokasi GTS untuk *node* perangkat yang diminta. (Lee, dkk, 2015)

Adjustment Delay Scheme (ADES) merupakan skema penyesuaian waktu *delay* ketika *node* perangkat mendeteksi saluran dalam kondisi sibuk. Metode ADES bertujuan untuk mengurangi *collision* dan *blind-of-backoff-process* yang membutuhkan lebih banyak konsumsi energi untuk *backoff* acak. Metode ADES ini merupakan modifikasi dari metode CSMA/CA yang bertujuan untuk mengatur lalu lintas transmisi data. Saat *channel* dalam kondisi sibuk, *device* akan mendeteksi berapa nilai *Contention Window* (CW) dan akan melakukan *delay* dengan ketentuan pada algoritma ADES. dengan adanya *delay* tersebut dapat menghindari *collision* serta probabilitas terkirimnya paket lebih besar karena

disediakan *slot* CW sejumlah 3 yang sebelumnya berjumlah 2. (Yundra dan Lee, 2017)

Untuk analisa performa WSN dapat dilihat dari martik kinerja WSN tersebut. Pada WSN kinerja yang paling diperhatikan salah satunya adalah *goodput* dan *bandwidth utilisasi* serta konsumsi energi.

Bandwidth adalah potensi kecepatan maksimal transfer data dalam satuan waktu. *Throughput* adalah kecepatan transfer data yang sebenarnya dalam satuan waktu. Sedangkan *goodput* adalah *throughput* tanpa memperhitungkan besar *header*, atau hanya fokus pada data payload (Yundra dan Lee, 2017).

Goodput dapat dituliskan dalam persamaan (3) :

$$S = \frac{N_{received} \times L_{data}}{T_{sim}} \quad (3)$$

(Sumber: Yundra dan Lee, 2017)

Keterangan :

S = *Goodput* (bit/detik)

$N_{received}$ = Jumlah paket yang diterima

L_{data} = Data *payload* (bit)

T_{sim} = Durasi waktu simulasi (detik)

Pada standar IEEE 802.15.4 transmisi data pada jaringan ini menggunakan struktur *superframe*, dimana setiap *superframe* memiliki *slot*. Dan data yang akan *ditransmisikan* tidak akan selalu memenuhi *slot* yang tersedia, untuk mengetahui seberapa penggunaan dari *slot superframe* bisa diketahui dengan melihat nilai penggunaan *bandwith*. Penggunaan *bandwith* atau disebut *bandwith utilisasi* adalah perbandingan antara *throughput* dengan *bandwith* yang tersedia. *Bandwith utilisasi* dapat dihitung dengan membandingkan jumlah SD yang ditempati (sebagai nilai dari *throughput*) dengan total SD yang tersedia (sebagai nilai *bandwith* yang tersedia) (Lee, dkk, 2015).

Perhitungan *bandwith utilisasi* dapat dilihat pada persamaan (4).

$$BU = \frac{SD \text{ yang ditempati}}{\text{Total } SD} \quad (4)$$

(Sumber : Yundra dan Lee, 2017)

Untuk mengetahui nilai SD yang ditempati dan Total SD dapat dilihat pada persamaan (5) dan (6).

$$SD \text{ yang ditempati} = \frac{N_{received} \times T_f}{T_{SD}} \quad (5)$$

(Sumber : Yundra dan Lee, 2017)

$$\text{Total } SD = \frac{T_{sim}}{T_{SD}} \quad (6)$$

(Sumber : Yundra dan Lee, 2017)

Sedangkan untuk mengetahui nilai T_f dan T_{SD} dapat dilihat pada persamaan (7) dan (8):

$$T_f = T_{data} + T_{ack} + T_{Lack} + T_{LIFS} \quad (7)$$

(Sumber : Yundra dan Lee, 2017)

$$T_{SD} = \frac{aBaseSuperfameDuration \times 2^{SO}}{Rs} \quad (8)$$

(Sumber : Yundra dan Lee, 2017)

Keterangan :

- T_f = Waktu untuk pengiriman satu paket data dan menerima paket ACK (detik)
- T_{data} = Waktu untuk mengirimkan paket data (detik)
- T_{ack} = Durasi menunggu paket ACK(detik)
- T_{Lack} = Durasi pengiriman satu paket (detik)
- T_{LIFS} = Durasi waktu dari antarfrasa (detik)
- T_{SD} = Durasi waktu simulasi (detik)
- T_{sim} = Durasi waktu simulasi (detik)
- $N_{received}$ = Jumlah paket yang diterima
- $aBaseSuperframeDuration$ = durasi minimum *superframe* (simbol)
- SO = *Superframe Order*
- Rs = data *symbol rate* (simbol/detik)
- BU = *Bandwith utilisasi* (%)

Konsumsi energi pada WSN adalah salah satu parameter yang perlu diperhatikan, karena pada WSN dimana *node* sensor menggunakan konsumsi energi dari baterai untuk operasi dari *node* sensor agar bisa digunakan secara portabel. Sedangkan, pada penerapannya pengambilan data dilakukan lebih dari sekali yang dapat menguras daya dari baterai tersebut. Konsumsi energi total pada WSN (E_{total}) adalah jumlah total energi yang digunakan pada koordinator (E_{Coord}) dan *devices* (E_{dev}) dalam bentuk matematisnya dapat dituliskan pada persamaan (9).

$$E_{total} = E_{dev} + E_{Coord} \quad (9)$$

(Sumber : Yundra dan Lee, 2017)

Keterangan :

- E_{total} = Konsumsi energi total dalam jaringan (Joule)
- E_{dev} = Konsumsi energi dari *node device* (Joule)
- E_{Coord} = Konsumsi energi dari *node* koordinator (Joule)

Berbagai penelitian telah dilakukan tentang IEEE 802.15.4. Namun penelitian mengenai IEEE 802.15.4 masih belum ada yang membahas tentang metode

kombinasi ADES dan SUDAS yaitu gabungan antara alokasi *slot* GTS atau disebut metode *Superframe Duration Adjustment Scheme* (SUDAS) dan metode penundaan waktu *delay* transmisi atau disebut metode *Adjustment Delay Scheme* (ADES). Selain itu juga *node* yang mengirim data pada koordinator tidak akan selalu sama besar ukuran data *payload* yang ditransmisikannya, melainkan tiap *node* memiliki spesifikasinya sendiri. Dengan data yang tidak selalu sama atau disebut data dinamis.

Berdasarkan latar belakang tersebut, maka dilakukan penelitian dengan judul “Analisis Kinerja *Wireless Sensor Network* Menggunakan Metode kombinasi SUDAS dan ADES pada Data Dinamis”. Dengan menerapkan metode kombinasi yang merupakan gabungan dari metode SUDAS dan metode ADES pada data dinamis diharapkan dapat menjadi referensi baik bagi dosen maupun bagi mahasiswa untuk mengembangkan lebih lanjut mengenai WSN.

Adapun permasalahan pada penelitian ini apakah metode kombinasi SUDAS dan ADES dapat meningkatkan matrik kinerja *goodput* dan *bandwidth utilisasi*, dan apakah dapat menurunkan konsumsi energi dalam WSN pada data dinamis dibanding dengan standar dan algoritma lainnya (ADES dan SUDAS).

Dimana tujuannya adalah untuk mengetahui peningkatan matrik kinerja *goodput* dan *bandwidth utilisasi* serta mengetahui penghematan konsumsi energi dalam *Wireless Sensor Network* pada data dinamis dibanding dengan standar dan algoritma lainnya.

Pada penelitian ini menggunakan *software* Castalia Simulator dioperasikan pada OS Ubuntu 18.04 LTS beserta analisisnya untuk pengambilan data. Batasan masalah pada penelitian ini adalah standar IEEE 802.15.4 *Zigbee* hanya pada lapisan *Medium Access Control* (MAC). Analisis matrik kinerja WSN akan menggunakan *goodput*, *bandwidth utilisasi* dan konsumsi energi. *Payload* merupakan data dinamis atau data yang tidak tetap, *node* satu dengan yang lainnya mengirim ukuran *payload* yang berbeda.

METODE PENELITIAN

Pada penelitian ini metode yang digunakan adalah metode kombinasi SUDAS dan ADES, algoritma SUDAS dan ADES dikombinasikan untuk memperoleh pengoptimalan kinerja WSN.

Pendekatan Penelitian

Penelitian ini menggunakan pendekatan penelitian kuantitatif. Yang intinya menekankan pada hal-hal yang bersifat konkret, uji empiris dan fakta-fakta yang nyata. (Sarwono, 2006). Data pada penelitian ini adalah matrik kinerja *goodput*, *bandwidth utilisasi* dan konsumsi energi dari metode kombinasi SUDAS dan ADES serta dari

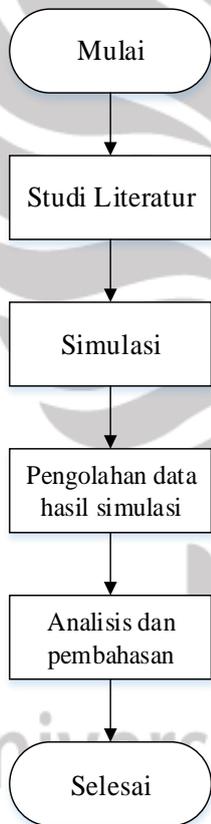
metode lainnya (SUDAS, ADES, Standar IEEE 802.15.4) berdasarkan hasil dari simulasi menggunakan *software* Castalia Simulator dan analisisnya.

Instrumen Pengumpulan Data

Instrumen adalah alat bantu yang digunakan untuk mempermudah pengumpulan data penelitian yang dilakukan secara sistematis. (Arikunto, 2006) Instrumen pengumpulan data yang digunakan dalam penelitian ini adalah laptop (PC) dengan OS Linux Ubuntu 18.04 LTS dan terpasang *software* Omnet++ dan Castalia Simulator yang digunakan untuk simulasi metode kombinasi ADES dan SUDAS pada WSN, serta Microsoft Excel sebagai pengolah data analisis. Data penelitian berupa matrik kinerja WSN yang selanjutnya dianalisis menggunakan Microsoft Excel.

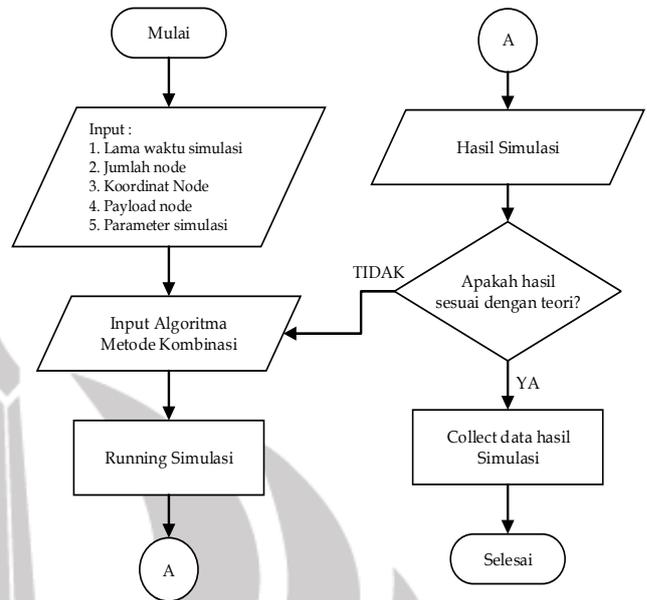
Rancangan Penelitian

Langkah-langkah perancangan penelitian ini secara garis besar di jelaskan dalam gambar 2



Gambar 2. Langkah-langkah penelitian

Secara garis besar langkah-langkah penelitian ini yang pertama dilakukan studi literatur untuk mengkaji WSN dan keunggulan dari metode SUDAS dan ADES. Selanjutnya dilakukan simulasi dalam *software* Castalia Simulator untuk mendapatkan data, langkah-langkah simulasi dapat dilihat pada gambar 3 :



Gambar 3. Langkah-langkah simulasi pada *software* Castalia

Dari simulasi WSN tersebut didapatkan data dari *Software* Castalia berupa data paket yang diterima setiap *node* dan konsumsi energi setiap *node*, yang dapat dilihat pada terminal Ubuntu, contoh data yang didapat dari terminal Ubuntu terdapat pada gambar 4:

```

yusrilcastalia@Castalia:~/Skripsi/Castalia-3.2/Castalia
ults -i KOMBINASI.txt -s received -n

Application: Packets received per node
+-----+-----+-----+-----+-----+
| index=1 | index=2 | index=3 | index=4 | index=5 |
| index=11 | index=12 | index=13 | index=14 | index=15 |
+-----+-----+-----+-----+-----+
| rate=2.23 | 229.4 | 224 | 218.6 | 219.2 |
| 168 | 181.4 | 164.8 | 169.6 | 129.8 |
| rate=4.46 | 469.6 | 451.8 | 436.2 | 437.8 |
| 221 | 229.8 | 218.6 | 271.2 | 189.6 |
| rate=6.70 | 685.4 | 681 | 658.4 | 653.2 |
    
```

Gambar 4. Paket data yang diterima pada metode kombinasi SUDAS dan ADES

Data tersebut kemudian akan diolah pada microsoft excel untuk mendapatkan nilai matrik kinerja *goodput*, *bandwith utilisasi* , serta konsumsi energi. Selanjutnya dilakukan analisis dan pembahasan dengan membandingkan matrik kinerja dari metode kombinasi SUDAS dan ADES dibanding dengan metode lainnya (SUDAS, ADES, dan standar IEEE 802.15.4).

HASIL DAN PEMBAHASAN

Parameter Simulasi

Tabel 1 merupakan nilai parameter yang digunakan pada simulasi program algoritma metode kombinasi ADES dan SUDAS pada *software* Castalia.

Tabel 1. Parameter simulasi

Parameter	Nilai
Physical data rate	250 kbps
UBP	80 bits
NumSuperframeSlot s	16
MacPacketOverhead	112 bits
ACK length (L_{ack})	88 bits
D_{node}	10 m
Parameter	Nilai
PWR_{tx}	31.32 mW
PWR_{rx}	35.28 mW
PWR_{idle}	712 μ W
BO=SO	6
BE_{min}	3
BE_{max}	5

Parameter Setiap Node

Pada penelitian ini menggunakan data dinamis, dimana semua *node* tidak memiliki ukuran *payload* yang berbeda. Terdapat 7 macam *node* dengan *payload* yang berbeda. Parameter yang digunakan untuk semua *node* di dalam simulasi metode kombinasi SUDAS dan ADES disajikan dalam tabel 2.

Tabel 2. Parameter setiap *node*

<i>Node</i>	Lack (bit)	ACK (bit)	LIFS (bit)	L_{data} (Byte)
1&2	88	32	160	40
3,4,5	88	32	160	50
6,7,8	88	32	160	60
9,10,11	88	32	160	70
12,13,14	88	32	160	80
15,16,17	88	32	160	90
18,19,20	88	32	160	100

Berdasarkan data di tabel 2 yakni terdapat 7 macam *node* dengan *payload* yang berbeda, yaitu 40, 50, 60, 70, 80, 90, 100 dalam satuan Byte. Atau jika dalam satuan bit menjadi 320, 400, 480, 560, 640, 720, 800.

Hasil Matrik Kinerja Goodput

Goodput pada WSN merupakan kecepatan transfer data pada WSN dengan mengabaikan ukuran *header*, data yang diperoleh dari hasil simulasi di *software* Castalia merupakan paket yang diterima setiap *node*. Jumlah paket data yang diterima pada metode SUDAS lebih sedikit, jika dibandingkan dengan metode kombinasi SUDAS dan ADES selisih antara ± 3 -440 paket. Sedangkan paket data

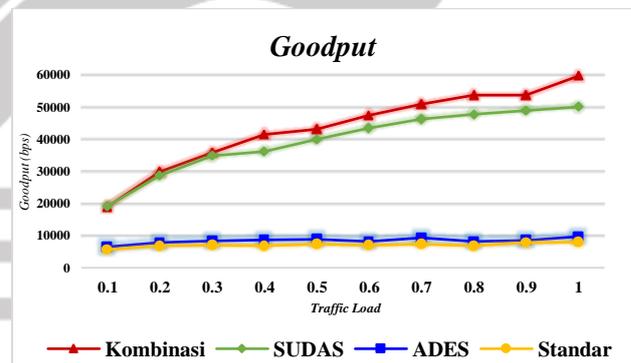
yang diterima pada metode ADES lebih sedikit lagi daripada metode kombinasi SUDAS dan ADES, dengan selisih antara ± 13 -1900 paket. Sedangkan paket data yang diterima pada metode Standar IEEE 802.15.4 lebih sedikit lagi daripada metode kombinasi SUDAS dan ADES, dengan selisih antara ± 33 -2000 paket.

Dimana setiap *node* memiliki nilai *payload* yang berbeda-beda sesuai dengan parameter setiap *node*, dan dilakukan perhitungan sesuai persamaan (3) sehingga diperoleh hasil sebagaimana disajikan pada tabel 3:

Tabel 3. Hasil analisis *goodput*

<i>Traffic Load</i>	Metode			
	Kombinasi	SUDAS	ADES	Standar
0.1	19008	19183	6514	5662
0.2	29825	28645	7806	6824
0.3	35846	34852	8360	7049
0.4	41449	36159	8721	6822
0.5	43084	39936	8811	7410
0.6	47430	43452	8247	7056
0.7	50991	46344	9377	7399
0.8	53792	47823	8258	6911
0.9	53791	48914	8540	7808
1	59691	50067	9696	7968

Pada gambar 5 merupakan grafik perbandingan *goodput* metode kombinasi dengan metode ADES, SUDAS, dan Standar IEEE 802.15.4 :



Gambar 5. Grafik perbandingan *goodput*

Berdasarkan gambar 5 menunjukkan bahwa nilai *goodput* terhadap *traffic load* pada metode kombinasi SUDAS dan ADES memiliki nilai yang paling tinggi dibandingkan metode lainnya (SUDAS, ADES, Standar IEEE 802.15.4). Nilai *goodput* rata-rata metode kombinasi SUDAS dan ADES masing-masing meningkat sebesar 10%, 416%, dan 513% dibanding metode SUDAS, metode ADES, dan standar IEEE 802.15.4.

Berdasarkan hal tersebut dapat ditarik kesimpulan bahwa pada metode kombinasi SUDAS dan ADES merupakan metode yang lebih baik dalam kecepatan pengiriman paket pada WSN khususnya IEEE 802.15.4 jika dibandingkan dengan metode lainnya.

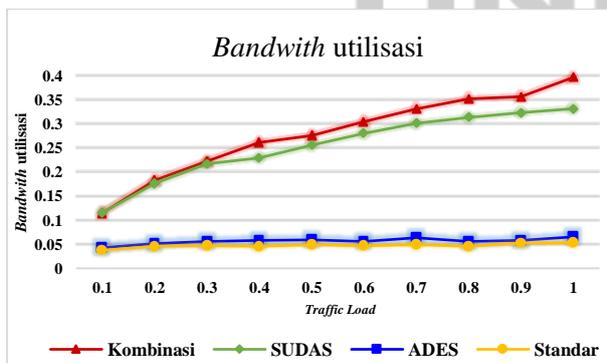
Hasil Matrik Kinerja Bandwith utilisasi

Bandwith utilisasi pada WSN dapat dihitung menggunakan persamaan (4), data yang diperoleh dari hasil simulasi di *software* Castalia merupakan paket yang diterima yang menempati *superframe duration (SD)* yang ditunjukkan pada gambar 4 yang selanjutnya dihitung sebagaimana pada persamaan (5). Dengan data tersebut dapat menghitung jumlah *SD* yang ditempati, dan untuk mendapatkan nilai total *SD* menggunakan persamaan (6) sehingga diperoleh hasil sebagaimana disajikan pada tabel 4.

Tabel 4. Hasil analisis *bandwith utilisasi*

Traffic Load	Metode			
	Kombinasi	SUDAS	ADES	Standar
0.1	0.11471	0.11555	0.04267	0.03749
0.2	0.18263	0.17618	0.05158	0.04524
0.3	0.22308	0.21719	0.05623	0.04732
0.4	0.26091	0.22912	0.05826	0.04526
0.5	0.27579	0.25531	0.05919	0.04956
0.6	0.30422	0.28007	0.05552	0.04719
0.7	0.33107	0.3015	0.06294	0.0495
0.8	0.35177	0.31294	0.05576	0.04625
0.9	0.35608	0.32332	0.0576	0.05249
1	0.39635	0.33128	0.0652	0.05321

Pada gambar 6 merupakan grafik perbandingan *bandwith utilisasi* metode kombinasi dengan metode ADES, SUDAS, dan Stadar IEEE 802.15.4 :



Gambar 6. Grafik perbandingan *bandwith utilisasi*

Berdasarkan persamaan (4) dan (3) jika dibandingkan keduanya, dapat dilihat bahwa nilai BU dan *goodput*

dipengaruhi oleh nilai paket diterima ($N_{received}$) dan waktu simulasi (T_{sim}) yang membedakan adalah waktu untuk mengirimkan paket data (T_f) dan nilai *payload* (L_{data}) pada *goodput*. Dimana T_f dan L_{data} nilainya tidak berubah ketika nilai *traffic load* berubah. Sehingga grafik yang diperoleh bentuknya sama antara *goodput* dan BU, namun nilainya berbeda.

Berdasarkan gambar 6 menunjukkan bahwa nilai *bandwith utilisasi* terhadap *traffic load* pada metode kombinasi SUDAS dan ADES memiliki nilai yang paling tinggi dibandingkan metode lainnya (SUDAS, ADES, Standar IEEE 802.15.4). Nilai *bandwith utilisasi* metode kombinasi SUDAS dan ADES masing-masing meningkat sebesar 0.025, 0.223, dan 0.232 dibanding metode SUDAS, metode ADES, dan standar IEEE 802.15.4.

Berdasarkan hal tersebut dapat ditarik kesimpulan bahwa pada metode kombinasi SUDAS dan ADES merupakan metode yang lebih efisien dalam mengelola besar *slot* yang tersedia pada WSN khususnya IEEE 802.15.4 jika dibandingkan dengan metode lainnya.

Hasil Matrik Kinerja Konsumsi Energi

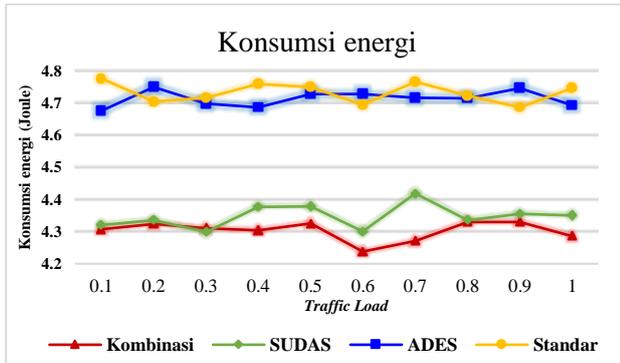
Konsumsi energi pada WSN dapat dihitung menggunakan persamaan (9), data yang diperoleh dari hasil simulasi di *software* Castalia merupakan konsumsi energi dari setiap *node*. Berikut adalah data hasil simulasi yang didapatkan :

Dengan data tersebut dapat menghitung total konsumsi energi dengan menjumlah keseluruhan konsumsi energi pada *node* koordinator (*node* 0) dan konsumsi energi pada *node device*(*node* 1 sampai 20), sehingga diperoleh hasil sebagaimana disajikan pada tabel 5.

Tabel 5. Hasil analisis konsumsi energi

Traffic Load	Metode			
	Kombinasi	SUDAS	ADES	Standar
0.1	4.307	4.321	4.676	4.777
0.2	4.324	4.336	4.75	4.705
0.3	4.311	4.299	4.698	4.717
0.4	4.304	4.377	4.687	4.759
0.5	4.325	4.378	4.729	4.75
0.6	4.238	4.301	4.728	4.695
0.7	4.271	4.419	4.716	4.766
0.8	4.33	4.336	4.715	4.723
0.9	4.33	4.356	4.747	4.687
1	4.286	4.351	4.693	4.747

Pada gambar 7 merupakan grafik perbandingan konsumsi energi metode kombinasi dengan metode ADES, SUDAS, dan Stadar IEEE 802.15.4 :



Gambar 7. Grafik perbandingan konsumsi energi

Berdasarkan gambar 7 menunjukkan bahwa nilai konsumsi energi terhadap *traffic load* pada metode kombinasi SUDAS dan ADES memiliki nilai yang paling rendah dibandingkan metode lainnya (SUDAS, ADES, Standar IEEE 802.15.4). Pada *traffic load* yang ringan (nilai 0.1 sampai 0.5), nilai konsumsi energi metode kombinasi SUDAS dan ADES masing-masing berkurang sebesar 1.02%, 8.72%, dan 9.08% dibanding metode SUDAS, metode ADES, dan standar IEEE 802.15.4.

Berdasarkan hal tersebut dapat ditarik kesimpulan bahwa konsumsi energi pada metode kombinasi SUDAS dan ADES merupakan metode yang optimal dalam penghematan energi pada WSN khususnya IEEE 802.15.4 jika dibandingkan dengan metode lainnya.

PENUTUP

Simpulan

Adapun simpulan yang dapat diambil berdasarkan analisa hasil dan pembahasan di atas, yaitu Berdasarkan hasil analisis matrik kinerja *goodput*, *bandwith utilisasi* dan konsumsi energi, dimana *goodput* rata-rata metode kombinasi SUDAS dan ADES masing-masing meningkat sebesar 10%, 416%, dan 513% dibanding metode SUDAS, metode ADES, dan standar IEEE 802.15.4.. *Bandwith utilisasi* metode kombinasi SUDAS dan ADES masing-masing meningkat sebesar 0.025, 0.223, dan 0.232 dibanding metode SUDAS, metode ADES, dan standar IEEE 802.15.4. Konsumsi energi metode kombinasi SUDAS dan ADES masing-masing berkurang sebesar 1.02%, 8.72%, dan 9.08% dibanding metode SUDAS, ADES, dan standar IEEE 802.15.4.

Berdasarkan kelebihan yang dimiliki oleh metode kombinasi SUDAS dan ADES tersebut, dapat diambil suatu kesimpulan bahwa metode kombinasi SUDAS dan ADES lebih cepat dalam pengiriman data, lebih efisien dalam alokasi *bandwith*, serta konsumsi energi yang lebih hemat jika dibandingkan dengan metode lainnya, .

Saran

Saran dari penulis untuk kedepannya agar melakukan kajian lebih lanjut mengenai performa metode kombinasi SUDAS dan ADES, pengukuran dengan cara simulasi saja masih kurang baik. Oleh karena itu, diperlukan kajian lebih lanjut untuk pengukuran secara langsung melalui sistem yang nyata maupun berdasarkan analisis yang mendalam.

DAFTAR PUSTAKA

- Arikunto, Suharsimi. 2006. *Prosedur Penelitian Suatu Pendekatan Praktik*. Jakarta: Rineka Cipta.
- Firdaus. 2014. *Wireless Sensor Network Teori dan Aplikasi*. Yogyakarta : Graha Ilmu.
- Harsono, Galuh Dhatuningtyas. 2017. *Analisis Pengalokasian Ukuran Guaranteed Time Slot Pada Wireless Body Area Network Berbasis IEEE 802.15.4*. Surabaya: Universitas Negeri Surabaya (UNESA).
- Lee, Bih-Hwang, Yundra, Eppy, Wu, Huai-Kuei dan Al Rasyid, M Udin Harun. 2015. *Analysis of Superframe Duration Adjustment Scheme for IEEE 802.15.4 networks*. Dalam Springer Open Journal. Taiwan
- Mausa, Danny. 2015. *Rancang Bangun Jaringan Sensor Nirkabel Berbasis Zigbee Untuk Pemantauan Suhu dan Kelembaban*. Lampung : Universitas Lampung.
- Pratama, I Putu Eka dan Suakanto, Sinung. 2015. *Wireless Sensor Network Teori & Praktek Berbasiskan Open Source*. Bandung : INFORMATIKA
- Rudiyanto. 2012. *Analisa Pengaruh Nilai Superframe Order dan Beacon Order terhadap Kinerja Jaringan Nirkabel Multihop pada Protokol IEEE 802.15.4*. Tesis diterbitkan. Jakarta : Universitas Indonesia
- Sarwono, Jonathan. 2006. *Metode Penelitian Kuantitatif dan Kualitatif – Edisi Pertama*. Yogyakarta : Graha Ilmu
- Standar IEEE 802.15.4. (2015). *Protokol Zigbee*. https://www.silabs.com/content/usergenerated/asi/cloud/attachments/siliconlabs/en/community/wireless/proprietary/forum/jcr:content/content/primary/qna/802_15_4_promiscuous-tbzR/hivukadin_vukadi-iTXQ/802.15.4-2015.pdf. Diakses pada 1 Agustus 2019.
- Yundra, Eppy dan Lee, Bih-Hwang. 2017. *Adjustment Delay Scheme to Improve Performance IEEE 802.15.4 Networks*. Jurnal TELKOMNIKA Vol. 15, No 4. 2017.